

PERPUSTAKAAN FTSP UI

HADIAH/BELI

TGL. TERIMA : 30-3-2001 u/g/08
NO. JUDUL :
NO. INV. : 486/TA/STS
NO. INDIK. : 512 800 3235001

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN DINDING PENGISI BATA MERAH
TERHADAP SIMPANGAN HORIZONTAL, GAYA GESER
DASAR DAN MOMEN GULING
PADA GEDUNG BERTINGKAT EMPAT**

*(The Influence of Infill Brick Walls to the Horizontal Displacements,
Shear Force, and Overturning Moment of a four-Storey Building)*



Disusun oleh :

Nursatyo Heri Bowo

No Mhs : 94 310 106

NIRM : 940051013114120105

Ridwan Tribowo

No Mhs : 94 310 126

No NIRM : 940051013114120125

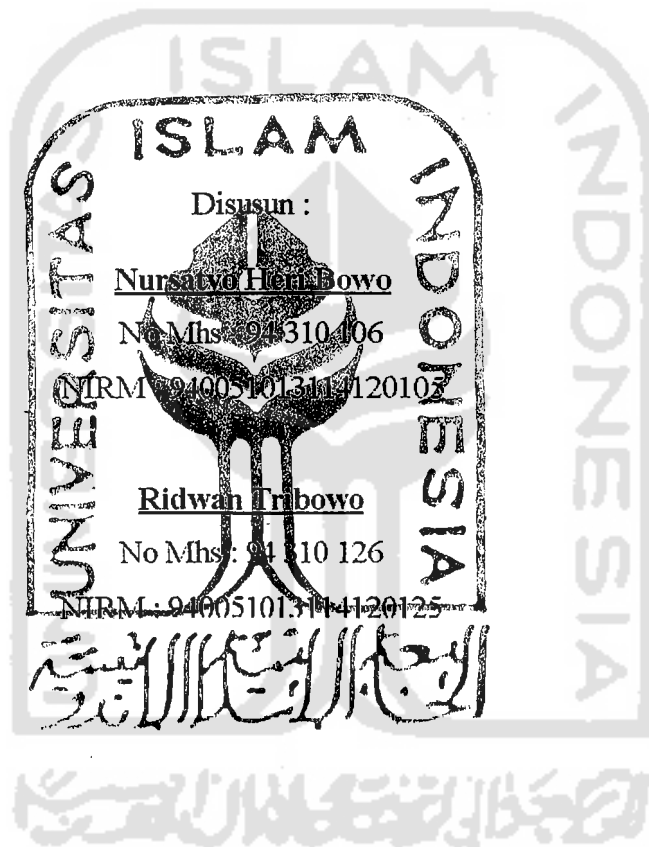
MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2000**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN DINDING PENGISI BATA MERAH
TERHADAP SIMPANGAN HORIZONTAL, GAYA GESER
DASAR DAN MOMEN GULING
PADA GEDUNG BERTINGKAT EMPAT**

*(The Influence of Infill Brick Walls to the Horizontal Displacements,
Shear Force, and Overturning Moment of a four-Storey Building)*



Disetujui dan Disahkan :

IR. Sarwidi, MSCE, PhD
Dosen Pembimbing I

IR. Helmi Akbar Bale, MT
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 26/01/2001

Tanggal: 22/01

Orang-orang yang kucintai

Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang

Kupersembahkan Tugas Akhir ini untuk

HALAMAN PERSEMBAHAN



MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai mengerjakan suatu urusan, kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”

(Q.S. Alam Nasyrah : 6-8)

“Bacalah! Dan Tuhanmulah yang paling pemurah. Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam. Dia telah mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya.”

(Q.S. Al Alaq : 3-5)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan tugas wajib bagi setiap mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, dalam menyelesaikan kuliah pada jenjang program strata 1 (S1).

Dalam penyusunan Tugas Akhir kami yang berjudul "PENGARUH PENAMBAHAN DINDING PENGISI BATA MERAH TERHADAP SIMPANGAN HORIZONTAL, GAYA GESER DASAR, DAN MOMEN GULING PADA GEDUNG BERTINGKAT EMPAT", kami telah berusaha semaksimal mungkin untuk memperoleh hasil yang sebaik-baiknya sesuai dengan kemampuan dan pengetahuan yang ada pada kami serta berpegang pada buku-buku referensi, pedoman dan petunjuk yang terpakai. Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang ada pada kami, untuk itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat kami harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini kami telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik bantuan moril maupun spirituil. Untuk itu kami menghaturkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. bapak Ir. Tadjuddin BM Aris, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. bapak Ir. Sarwidi, MSCE, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I,
4. bapak Ir. Helmi Akbar Bale, MT, selaku Dosen Pembimbing II,
5. bapak Ir. Suharyatmo, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. bapak Ayahanda dan Ibunda kami yang tercinta, yang selalu berdoa untuk keberhasilan kami, hingga kami sampai pada penghujung studi ini, dan
7. Adik Hilda dan Zeta, Kuncung, Ciblex, Jeliteng, Jepang dan teman-teman lainnya atas dukungannya hingga kami dapat menyelesaikan tugas ini.

Atas segala budi dan amal baik yang telah diberikan, kami hanya dapat memanjatkan doa dan terima kasih. Selanjutnya penulis berharap juga, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kami dan bagi para pembaca. Amien.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, November 2000

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO.....	iv
KATA PENGHANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
ABSTRAK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Pendekatan Masalah.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	11
3.1 Struktur Dengan Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF).....	11
3.2 Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)	13
3.3 <i>Mode Shape</i> dan Frekuensi.....	15
3.4 Simpangan Horisontal	18
3.5 Gaya Geser Dasar.....	19
3.6 Momen Guling (<i>Overtuning Momen</i>).....	20
3.7 Dinding Pengisi Bata Merah.....	21
3.7.1 Kekakuan Dinding Pengisi Bata Merah.....	22
3.8 Resonansi.....	24
BAB IV METODE PENELITIAN.....	26
4.1 Data yang Diperlukan.....	26
4.2 Pengolahan Data	27
4.3 Pengujian.....	28
BAB V HITUNGAN DAN HASIL.....	30
5.1 Model Struktur	30
5.2 Perhitungan Massa tingkat.....	31
5.3 Variasi Letak Dinding Pengisi Bata Merah.....	32
5.4 Perhitungan Portal tanpa Dinding Pengisi Bata Merah.....	33
5.4.1 Perhitungan Nilai Kekakuan.....	33
5.4.2 Perhitungan Matriks Massa, Matriks kekakuan dan <i>Mode Shape</i>	34
5.4.3 Simpangan Horisontal Tiap Mode.....	37

5.4.4	Gaya Horisontal Tiap Mode	40
5.4.5	Simpangan Relatif tiap Lantai.....	42
5.4.6	Gaya Geser Tingkat dan Gaya Geser Dasar.....	42
5.4.7	Perhitungan Momen Guling	42
5.5	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Pada Tingkat 1 (Variasi 2).....	43
5.6	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Pada Tingkat 2 (Variasi 3).....	45
5.7	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Pada Tingkat 3 (Variasi 4).....	47
5.8	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Pada Tingkat 4 (Variasi 5).....	49
5.9	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Pada Tingkat 1 & 2 (Variasi 6)	51
5.10	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Pada Tingkat 1, 2 & 3(Variasi 7)	53
5.11	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Penuh (Variasi 8).....	55
5.12	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
	Pada Tingkat 1 (Variasi 9).....	57
5.13	Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	

Pada Tingkat 2 (Variasi 10).....	59
5.14 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
Pada Tingkat 3 (Variasi 11).....	61
5.15 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
Pada Tingkat 4 (Variasi 12).....	63
5.16 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
Pada Tingkat 1 & 2 (Variasi 1).....	65
5.17 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
Pada Tingkat 1, 2 & 3 (Variasi 14).....	67
5.18 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah	
Penuh (Variasi 15).....	69
BAB VI ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	71
6.1 Analisis.....	71
6.1.1 Simpangan Horisontal Tiap Tingkat.....	72
6.1.2 Gaya Geser Dasar.....	73
6.1.3 Momen Guling.....	75
6.2 Pembahasan.....	76
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
7.1 Kesimpulan.....	85
7.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

• Tabel 3.1 Tabel kuat tekan bata merah	21
• Tabel 3.2 Tabel penentuan lebar diagonal struts (w)	23
• Tabel 5.1 Variasi penambahan dinding pengisi bata merah	32
• Tabel 5.2 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 2	44
• Tabel 5.3 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 3	46
• Tabel 5.4 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 4	48
• Tabel 5.5 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 5	50
• Tabel 5.6 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 6	52
• Tabel 5.7 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 7	54
• Tabel 5.8 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 8	56

• Tabel 5.9 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 9	58
• Tabel 5.10 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 10	60
• Tabel 5.11 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 11	62
• Tabel 5.12 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 12	64
• Tabel 5.13 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 13	66
• Tabel 5.14 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 14	68
• Tabel 5.15 Hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar, dan momen guling pada variasi 15	70
• Tabel 6.1 Tabel simpangan relatif tiap lantai	72
• Tabel 6.2 Gaya geser dasar	74
• Tabel 6.3 Analisis momen guling	75

DAFTAR GAMBAR

• Gambar 2.1 Elemen-elemen non struktural	8
• Gambar 3.1 Beban dinamik pada struktur SDOF	12
• Gambar 3.2 Struktur <i>MDOF</i>	14
• Gambar 3.3 Momen Guling (M_b) dan Gaya Geser Dasar (V) akibat Gaya (F_i) dan jarak (h_i)	20
• Gambar 3.4 Gambar <i>equivalent diagonal strut</i> dan perubahan bentuk horizontal (Δ) akibat beban (F_j)	23
• Gambar 4.1 Bagan Alir Pengerjaan	29
• Gambar 5.1 Portal model struktur	30
• Gambar 5.2 Pola/ragam goyangan atau <i>mode shape</i>	37
• Gambar 5.3 Gaya geser tingkat untuk tiap mode	41
• Gambar 5.4 Struktur dengan variasi 2	43
• Gambar 5.5 Struktur dengan variasi 3	45
• Gambar 5.6 Struktur dengan variasi 4	47
• Gambar 5.7 Struktur dengan variasi 5	49
• Gambar 5.8 Struktur dengan variasi 6.....	51
• Gambar 5.9 Struktur dengan variasi 7.....	53

• Gambar 5.10 Struktur dengan variasi 8	55
• Gambar 5.11 Struktur dengan variasi 9	57
• Gambar 5.12 Struktur dengan variasi 10	59
• Gambar 5.13 Struktur dengan variasi 11	61
• Gambar 5.14 Struktur dengan variasi 12	63
• Gambar 5.15 Struktur dengan variasi 13	65
• Gambar 5.16 Struktur dengan variasi 14	67
• Gambar 5.17 Struktur dengan variasi 15	69
• Gambar 6.1 Hasil analisis simpangan relatif lantai 1	79
• Gambar 6.2 Normalisasi simpangan relatif lantai 1	79
• Gambar 6.3 Hasil analisis simpangan relatif lantai 2	80
• Gambar 6.4 Normalisasi simpangan relatif lantai 2	80
• Gambar 6.5 Hasil analisis simpangan relatif lantai 3	81
• Gambar 6.6 Normalisasi simpangan relatif lantai 3	81
• Gambar 6.7 Hasil analisis simpangan relatif lantai 4	82
• Gambar 6.8 Normalisasi simpangan relatif lantai 4	82
• Gambar 6.9 Hasil analisis gaya geser dasar	83
• Gambar 6.10 Normalisasi gaya geser dasar	83
• Gambar 6.11 Hasil analisis momen guling	84
• Gambar 6.12 Normalisasi momen guling	84

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hitungan Variasi 2
- Lampiran 2 Hitungan Variasi 3
- Lampiran 3 Hitungan Variasi 4
- Lampiran 4 Hitungan Variasi 5
- Lampiran 5 Hitungan Variasi 6
- Lampiran 6 Hitungan Variasi 7
- Lampiran 7 Hitungan Variasi 8
- Lampiran 8 Hitungan Variasi 9
- Lampiran 9 Hitungan Variasi 10
- Lampiran 10 Hitungan Variasi 11
- Lampiran 11 Hitungan Variasi 12
- Lampiran 12 Hitungan Variasi 13
- Lampiran 13 Hitungan Variasi 14
- Lampiran 14 Hitungan Variasi 15
- Lampiran 15 Grafik respon spektra wilayah gempa 2
- Lampiran 16 Kekakuan dinding pengisi bata merah

m	massa
M_b	momen guling
$[M]$	matrik massa
t	tebal dinding
T	periode getar
V	gaya geser dasar
w	lebar <i>diagonal strut</i>
W	berat
$y(t)$	simpangan
$\dot{y}(t)$	kecepatan
$\ddot{y}(t)$	percepatan
y_i	simpangan relatif tiap lantai
$\{y(t)\}$	vektor simpangan
$\{\dot{y}(t)\}$	vektor kecepatan
$\{\ddot{y}(t)\}$	vektor percepatan
z_j	modal amplitudo
ϕ_j	<i>mode shape</i>
ω	frekuensi sudut
Γ_n	partisipasi faktor mode ke- n
Δ	perubahan bentuk horisontal



INTISARI

Pada waktu dilanda gempa, sifat dan kelakuan struktur sulit untuk diramalkan. Hal ini dapat disebabkan oleh interaksi elemen-elemen non-struktur. Salah satu cara yang digunakan sehubungan dengan elemen non-struktur adalah dengan menganalisis dan memasukkan kontribusinya pada kekakuan struktur primer.

Sebagai elemen non-struktur, dinding pengisi bata merah umumnya hanya diperhitungkan sebagai beban mati, padahal adanya dinding pengisi, kekakuan kolom bertambah yang berarti respon struktur dalam menahan beban gempa meningkat.

Pada penelitian ini, kami menganalisis penambahan dinding pengisi bata merah dengan mutu bata merah 70 kg/cm^2 dan 90 kg/cm^2 . Analisis dilakukan terhadap simpangan horisontal tiap tingkat, gaya geser dasar dan momen guling dalam berbagai variasi letak dinding pengisi. Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa simpangan horisontal tiap tingkat menjadi berkurang, sedangkan gaya geser dasar memiliki kecenderungan yang sama dengan teori yang menyatakan bahwa penambahan kekakuan akan mengakibatkan peningkatan gaya geser dasar. Hasil analisis momen guling serupa dengan hasil analisis gaya geser dasar, hal ini disebabkan karena momen guling merupakan hasil kali gaya geser tingkat dengan elevasi tinggi dari muka tanah yang nilainya konstan.

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, pendekatan masalah dan sistematika penulisan, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

1.1. Latar Belakang Masalah

Tujuan mempelajari teknik gempa adalah merencanakan suatu bangunan tahan gempa, artinya bangunan tersebut boleh rusak pada saat dilanda gempa tapi tidak boleh runtuh dan masih dapat berfungsi (Theodosius, 1999). Pada waktu dilanda gempa, sifat dan kelakuan struktur bangunan sulit untuk diramalkan. Hal ini disebabkan karena interaksi dari elemen-elemen strukturnya atau interaksi dari elemen-elemen non-struktur yang mempengaruhi perilaku strukturnya. Pengetahuan tentang tingkah laku bagian-bagian struktur ternyata lebih penting dari pada pengetahuan menghitung beban gempa seperti yang dahulu diperkirakan oleh para ahli bangunan (Tjokrodimuljo, 1990).

Salah satu permasalahan yang patut untuk diamati adalah adanya penambahan dinding pengisi pada struktur. Sebagai elemen non-struktur, pada umumnya dinding pengisi hanya berfungsi sebagai partisi atau *exterior walls* dan dianggap sebagai

beban mati yang tidak mempengaruhi kekuatan atau kekakuan struktur. Pada kenyataannya dinding pengisi yang umumnya berupa tembok bata dan menempel pada kolom akan menambah kekakuan kolom dalam menahan beban horisontal (Tjokrodimuljo, 1990). Akibatnya penambahan dinding pengisi akan mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan. (Stafford Smith dan Coull, 1991).

1.2 . Rumusan Masalah

Unsur non-struktur yang cukup kaku dan kuat dapat merubah respon struktur yang telah dihitung. Dinding pengisi yang umumnya berupa tembok bata dan menempel pada kolom akan memperkuat struktur dalam menahan beban horisontal dan menambah kekakuan kolom (Tjokrodimuljo, 1990).

Sejauh mana pengaruh penambahan dinding pengisi bata merah terhadap simpangan horisontal tiap lantai, gaya geser dasar dan momen guling pada bangunan gedung bertingkat tahan gempa perlu dikaji.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui sejauh mana penambahan tembok sebagai dinding pengisi akan mempengaruhi besarnya simpangan horisontal tiap lantai, gaya geser dasar dan momen guling pada bangunan gedung bertingkat.

1.4. Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. mempelajari perilaku dan pengaruh penambahan dinding pengisi terhadap besarnya simpangan horisontal tiap lantai, gaya geser dasar dan momen guling pada bangunan gedung,
2. sebagai bahan pertimbangan perencanaan struktur gedung tahan gempa dengan memperhitungkan dinding pengisi sebagai faktor yang ditinjau, dan
3. sebagai tambahan pengetahuan dalam perencanaan bangunan gedung tahan gempa.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dimaksudkan agar analisis menjadi lebih sederhana dan relatif mudah tetapi masih proporsional. Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagaimana yang akan disebutkan berikut ini.

1. Tinjauan struktur dilakukan dalam dua dimensi sehingga torsi tidak diperhitungkan.
2. Massa lantai dan kolom struktur dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*), yaitu pada tiap lantai.
3. Beban gempa yang dipakai adalah beban gempa berupa spektrum respons (*response spectrum*) seperti yang tercantum dalam PERENCANAAN TAHAN GEMPA INDONESIA UNTUK GEDUNG (DPU, 1981) dengan asumsi tanah pendukungnya termasuk tanah keras dan struktur kolom bagian bawah dianggap jepit.
4. Struktur gedung yang ditinjau adalah struktur gedung 4 lantai.

5. Analisa yang digunakan untuk perhitungan kekakuan (*stiffness*) tingkat adalah prinsip bangunan geser (*shear building*) (Theodosius, 1999).
6. Analisa dinamika struktur dibatasi pada kondisi linier elastis, sehingga kekuatan leleh (*yield strength*) tidak diperhitungkan.
7. Dinding pengisi yang dipakai adalah tembok 1/2 bata dengan mutu bata merah 70 kg/cm² dan 90 kg/cm².
8. Dinding pengisi bata merah mengisi penuh ruang diantara kolom-kolom sehingga akan memperkaku strukturnya. Adanya kolom-kolom praktis dianggap tidak mempengaruhi kekakuan struktur.
9. Tidak dilakukan analisis mengenai penulangan.
10. Berat tembok tidak diperhitungkan.
11. Kekakuan ekuivalen dari portal yang terdapat tambahan dinding pengisi bata merah diperoleh dengan cara menjumlahkan kekakuan ekuivalen portal dengan kekakuan tembok.

1.6. Pendekatan Masalah

Pendekatan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah perencanaan numeris pada model struktur gedung bertingkat empat. Kemudian divariasikan letak dinding pengisi (tembok) pada tiap tingkat struktur. Selanjutnya akan diteliti besarnya pengaruh penambahan dinding pengisi terhadap simpangan horisontal tiap lantai,

gaya geser dasar dan momen guling dari struktur dengan memakai program bantu MATLAB (Hanselman dan Littlefield, 1997) dan Excel (Microsoft, 1999).

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dan memberikan gambaran lengkap tentang penelitian yang dilakukan, maka sistematika penulisan adalah sebagai berikut ini.

BAB I, Pendahuluan, berisi tentang latar belakang pengaruh penambahan dinding pengisi (tembok) bata merah sebagai permasalahan yang patut untuk dikaji, rumusan masalah untuk menjelaskan permasalahan yang timbul, tujuan penelitian, manfaat yang dapat diambil dari penelitian, batasan masalah untuk lebih memfokuskan penelitian sehingga dapat berbobot dan pendekatan masalah untuk mengetahui metode yang dipakai dalam memecahkan masalah yang ada.

BAB II, Tinjauan Pustaka, memuat informasi-informasi tentang dinding pengisi bata merah dan pengaruhnya terhadap struktur yang berhubungan dengan masalah yang kami teliti.

BAB III, Landasan Teori, mengemukakan dasar-dasar teori secara garis besar, yang memuat model-model matematis beserta penjabarannya dan merupakan tuntunan yang digunakan untuk memecahkan masalah yang dihadapi.

BAB IV, Metode Penelitian, memuat rencana penelitian, data-data yang diperlukan, pengolahan data yang didapat dan pengujian penelitian.

BAB V, Hitungan dan Hasil, berisi hitungan dan hasil untuk mencari simpangan horisontal tiap lantai, gaya geser dasar dan momen guling.

BAB VI, Analisis dan Pembahasan, analisis dan pembahasan dari hasil-hasil yang diperoleh berupa angka, tabel dan grafik.

BAB VII, Kesimpulan dan Saran, memuat pernyataan singkat dan tepat berupa kesimpulan yang didapat dari hasil penulisan dan saran yang didapat berdasarkan kesimpulan yang didasari dengan kenyataan dari hasil penelitian.

Selain itu akan dilengkapi dengan lampiran-lampiran berupa tabel dan grafik dari hasil penelitian ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu kebijakan dalam *engineering problem* adalah membuat suatu asumsi atau penyederhanaan sehingga struktur secara keseluruhan dapat dimodel dan dapat ditelaah secara matematik tanpa kehilangan ketelitian yang berarti. Idealisasi gambaran untuk analisa hubungan antara struktur yang sesungguhnya dengan solusi matematis yang baik disebut model matematik (Paz, 1997).

Dalam dinamika struktur, jumlah koordinat bebas (*independent coordinates*) diperlukan untuk menetapkan susunan atau posisi sistem pada setiap saat. Pada umumnya struktur menerus (*continuous structure*) mempunyai jumlah derajat kebebasan tak terhingga. Namun dengan proses idealisasi sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan dan untuk beberapa keadaan dapat menjadi berderajat kebebasan tunggal (*single degrees of freedom*) (Paz, 1997).

Perlu ditekankan bahwa banyak elemen non-struktural yang sangat mempengaruhi perilaku struktur. Tergantung pada bagaimana elemen tersebut berinteraksi dengan struktur primer. Elemen non-struktural ini dapat mempengaruhi periode alami getaran struktur, sehingga mempengaruhi juga gaya yang timbul.

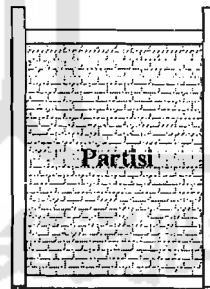
Elemen ini juga dapat mempengaruhi distribusi kekakuan lateral pada gedung (Schodek, 1999).

Bila pada suatu bangunan bertingkat terdapat elemen non-struktural, maka ada dua cara yang dapat dipilih sehubungan dengan elemen non-struktural ini (Schodek, 1999). Kedua cara tersebut adalah sebagai berikut ini (lihat Gambar 2.1).

1. Dengan menganalisis semua elemen non-struktural (partisi) dan memasukkan kontribusinya pada kekakuan struktur primer kedalam analisis dan desain struktur utama (lihat Gambar 2.1.b).
2. Tidak menganalisis elemen non-struktural (partisi) sehingga elemen non-struktural tidak mempunyai kontribusi sama sekali pada kekakuan struktur. Hal ini dilakukan dengan membuat hubungan detail yang mempunyai celah antara elemen struktur primer dan elemen non-struktural (lihat Gambar 2.1.a).



a) Partisi tidak mempengaruhi



b) Partisi mempunyai kontribusi pada kekakuan

Gambar 2.1. Elemen-elemen non struktural

Dinding tembok pengisi umumnya hanya dianggap sebagai beban mati saja yang bekerja pada balok yang ada di bawahnya, padahal karena umumnya dinding pengisi berupa tembok bata dan menempel pada kolom maka akan mengganggu lendutan kolom. Akibatnya dinding tembok ikut menahan beban horisontal dan menambah kekakuan kolom (Tjokrodimuljo, 1990).

Unsur-unsur non-struktur harus dipisahkan dari strukturnya, kecuali pada unsur-unsur yang sangat kaku. Unsur-unsur non-struktur yang cukup kaku dan kuat dapat merubah respon struktur yang telah dihitung. Sebagai contoh, tangga-tangga dan dinding tembok pemisah yang berhubungan erat pada lantai-lantai tingkat atau yang mengisi penuh ruang diantara kolom-kolom merupakan unsur-unsur yang memperkaku strukturnya. Hal ini berarti bahwa respon struktur terhadap gempa menjadi lebih kuat (DPU, 1981).

Sebuah portal akan menerima gaya geser sesuai dengan kemampuannya yang berbanding lurus dengan nilai kekakuannya. Semakin besar nilai kekakuannya, semakin besar pula gaya geser yang dapat dilayaninya dan begitu pula sebaliknya. Sifat ini juga berlaku pada analisis momen gulingnya karena momen guling merupakan hasil kali antara gaya lantai dengan elevasi tingkat dari muka tanah (Famularsih dan Wirogo, 1999).

Bangunan tinggi tetapi kurang lebar berarti mempunyai kelangsingan cukup besar. Bangunan tinggi akan menimbulkan momen guling (*overturning moment*) yang

besar. Didalam pendistribusian massa secara vertikal, sebaiknya semakin ke atas, massa tingkat semakin kecil, sehingga momen guling menjadi kecil (Widodo,1997).



BAB III

LANDASAN TEORI

Landasan teori berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini yang meliputi struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF), struktur dengan derajat kebebasan banyak (MDOF), *mode shape*, simpangan horisontal, gaya geser dasar, momen guling, dinding pengisi bata merah dan resonansi. Keseluruhan penjelasan analisis struktur dalam bab ini adalah dengan anggapan sistem linier elastis.

3.1. Struktur Dengan Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

Untuk menyusun persamaan diferensial gerakan suatu massa maka diambil suatu model struktur dengan derajat kebebasan tunggal seperti Gambar 3.1. Dengan anggapan kolom bangunan terjepit secara penuh dan massa struktur tergumpal disatu titik.

Berdasarkan "*free body diagram*" (Gambar 3.1.c), maka

$$F_M(t) + F_D(t) + F_S(t) = F(t) \quad (3.1)$$

$$\text{Dengan } F_M(t) = m \ddot{y}(t), \quad F_D(t) = c \dot{y}(t), \quad F_S(t) = k y(t) \quad (3.2)$$

$F_M(t)$, $F_D(t)$, $F_S(t)$ masing-masing adalah gaya inersia, gaya redam, dan gaya tarik/desak yang mempresentasikan kekuatan kolom, m adalah massa lantai, $F(t)$

adalah beban dinamik, dan $\ddot{y}(t)$, $\dot{y}(t)$, $y(t)$ masing-masing adalah percepatan, kecepatan, simpangan

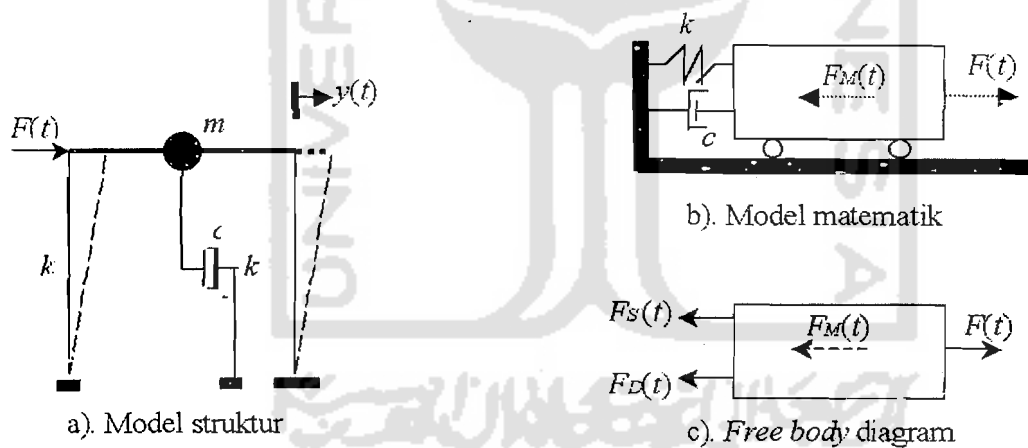
Dengan mensubstitusikan persamaan (3.2) kedalam persamaan (3.1) menjadi :

$$m \ddot{y}(t) + c \dot{y}(t) + k y(t) = F(t) \quad (3.3)$$

Persamaan di atas disebut persamaan differensial gerakan (*differential equation of motion*). Dalam prinsip dinamika struktur diperoleh hubungan :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{rad/dt}), \quad \omega = \text{angular frequency}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{detik}), \quad T = \text{periode} \quad (3.4)$$



Gambar 3.1 Beban dinamik pada struktur SDOF

3.2. Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Struktur bangunan gedung tidak selalu dapat dinyatakan dengan suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal (SDOF). Umumnya struktur bangunan gedung justru mempunyai derajat kebebasan banyak (MDOF).

Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak, massa struktur digumpalkan (*lumped mass*) pada tempat tertentu, misalnya digumpalkan pada tiap-tiap muka tingkat. Jumlah derajat kebebasan berasosiasi dengan jumlah massa. Struktur yang mempunyai n tingkat, akan mempunyai n derajat kebebasan dan mempunyai n mode. Dengan prinsip bangunan geser (*shear building*) massa total tiap lantai dipusatkan pada masing-masing lantai, balok pada lantai kaku sekali dibanding dengan kolom dan deformasi struktur tak tergantung pada gaya aksial kolom (Theodosius, 1999). Prinsip bangunan geser digunakan untuk memperoleh persamaan diferensial gerakan suatu struktur dengan derajat kebebasan banyak.

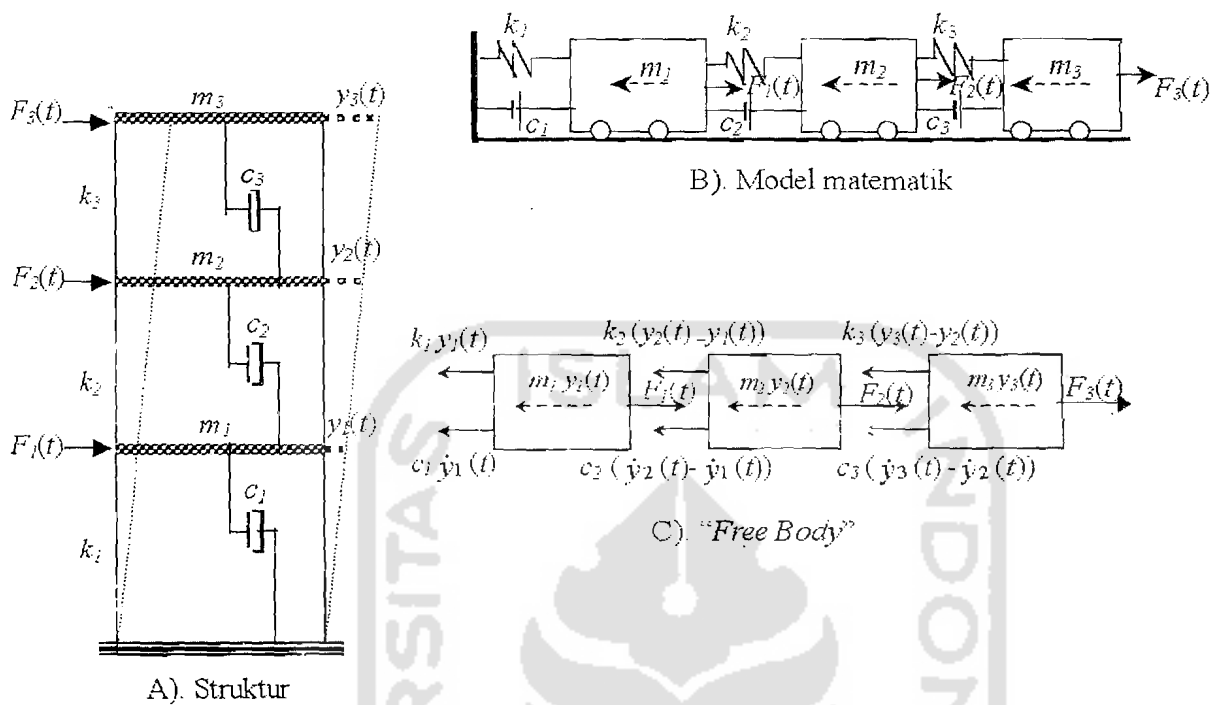
Pada struktur bangunan gedung bertingkat tiga seperti Gambar 3.2, maka struktur akan mempunyai tiga derajat kebebasan.

Berdasarkan prinsip keseimbangan dinamik pada diagram *free body* akan diperoleh persamaan dibawah ini.

$$m_1 \ddot{y}_1(t) + c_1 \dot{y}_1(t) + k_1 y_1(t) - c_2 (\dot{y}_2(t) - \dot{y}_1(t)) - k_2 (y_2(t) - y_1(t)) - F_1(t) = 0 \quad (3.5a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2(t) + c_2 (\dot{y}_2(t) - \dot{y}_1(t)) + k_2 (y_2(t) - y_1(t)) - c_3 (\dot{y}_3(t) - \dot{y}_2(t)) - k_3 (y_3(t) - y_2(t)) - F_2(t) = 0 \quad (3.5b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3(t) + c_3 (\dot{y}_3(t) - \dot{y}_2(t)) + k_3 (y_3(t) - y_2(t)) - F_3(t) = 0 \quad (3.5c)$$



Gambar 3.2 Struktur MDOF

Dari persamaan (3.5) untuk memperoleh keseimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi kekakuan, redaman dan simpangan massa sebelum dan sesudahnya. Persamaan dengan sifat ini disebut *coupled equation*, penyelesaian persamaan *coupled* dilakukan secara simultan atau saling tergantung.

Dengan menyusun persamaan (3.5) menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan dan simpangan), maka diperoleh persamaan di bawah ini.

$$m_1 \ddot{y}_1(t) + c_1 \dot{y}_1(t) + k_1 y_1(t) - c_2 (\dot{y}_2(t) - \dot{y}_1(t)) - k_2 (y_2(t) - y_1(t)) = F_1(t) \quad (3.6a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2(t) + c_2 (\dot{y}_2(t) - \dot{y}_1(t)) + k_2 (y_2(t) - y_1(t)) - c_3 (\dot{y}_3(t) - \dot{y}_2(t)) - k_3 (y_3(t) - y_2(t)) = F_2(t) \quad (3.6b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3(t) + c_3 (\dot{y}_3(t) - \dot{y}_2(t)) + k_3 (y_3(t) - y_2(t)) = F_3(t) \quad (3.6c)$$

Persamaan-persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) \\ \ddot{y}_3(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1(t) \\ \dot{y}_2(t) \\ \dot{y}_3(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \quad (3.7)$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matriks yang lebih kompleks :

$$[M]\{\ddot{y}(t)\} + [C]\{\dot{y}(t)\} + [K]\{y(t)\} = \{F(t)\} \quad (3.8)$$

dimana matriks massa, redaman dan kekakuan masing-masing adalah sebagai berikut.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}, [K] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Sedangkan $\{\ddot{y}(t)\}$, $\{\dot{y}(t)\}$, $\{y(t)\}$ dan $\{F(t)\}$ masing-masing disebut vektor percepatan, vektor kecepatan, vektor simpangan dan vektor beban atau

$$\{\ddot{y}(t)\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) \\ \ddot{y}_3(t) \end{Bmatrix}, \{\dot{y}(t)\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1(t) \\ \dot{y}_2(t) \\ \dot{y}_3(t) \end{Bmatrix}, \{y(t)\} = \begin{Bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \end{Bmatrix} \text{ dan } \{F(t)\} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

3.3. Mode Shape dan Frekuensi

Suatu struktur umumnya akan bergerak akibat adanya pembebanan dari luar maupun adanya suatu nilai awal (*initial condition*). Misalnya suatu massa ditarik sedemikian rupa sehingga mempunyai simpangan awal sebesar y_n dan apabila gaya

tersebut dikenal dengan getaran bebas (*free vibration system*). Gerakan massa yang disebabkan adanya pembebanan dari luar misalnya beban angin atau beban gempa, maka gerakan massa tersebut disebut sebagai gerakan dipaksa (*forced vibration system*). Untuk menyederhanakan permasalahan anggapan bahwa massa bergetar bebas (*free vibration system*) akan sangat membantu untuk menyelesaikan analisis dinamik struktur.

Persamaan diferensial gerak pada getaran bebas ($F(t) = 0$) pada struktur adalah sebagai berikut.

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (3.11)$$

Frekuensi pada struktur dengan redaman (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur yang dianggap tanpa redaman apabila nilai *damping ratio* cukup kecil. Apabila hal ini diadopsi untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak, maka untuk nilai $[C] = 0$, persamaan (3.11) menjadi,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (3.12)$$

Persamaan (3.12) adalah persamaan diferensial gerakan tanpa redaman, maka respon struktur akan bersifat harmonik, sehingga,

$$\{y\} = \{\phi\} A \sin(\omega t) \quad (3.13)$$

$$\{\dot{y}\} = \omega\{\phi\} A \cos(\omega t) \quad (3.14)$$

$$\{\ddot{y}\} = -\omega^2\{\phi\} A \sin(\omega t) \quad (3.15)$$

Dalam hal ini $\{\phi\}$ adalah vektor *mode shape*. Substitusi persamaan (3.13) dan (3.15) kedalam persamaan (3.12) akan diperoleh,

$$-\omega^2 [M]\{\phi\} \sin(\omega t) + [K]\{\phi\} \sin(\omega t) = 0 \quad (3.16a)$$

$$\{[K] - \omega^2 [M]\} \{\phi\} = 0 \quad (3.16b)$$

Persamaan (3.16b) merupakan persamaan *eigen problem*, selanjutnya,

$$\omega_i^2 [M]\{\phi_i\} = [K]\{\phi_i\} \quad (3.17a)$$

$$\omega_j^2 [M]\{\phi_j\} = [K]\{\phi_j\} \quad (3.17b)$$

apabila tranpose persamaan (3.17a) dipostmultiply dengan $\{\phi_j\}$, maka

$$(\omega_i^2 [M]\{\phi_i\})^T \{\phi_j\} = ([K]\{\phi_i\})^T \{\phi_j\} \quad (3.18)$$

karena matrik massa $[M]$ dan matrik kekakuan $[K]$ adalah matrik simetri, maka

$$[M]^T = [M] \text{ dan } [K]^T = [K], \text{ sehingga}$$

$$\omega_i^2 [M]\{\phi_i\}^T \{\phi_j\} = [K]\{\phi_i\}^T \{\phi_j\} \quad (3.19)$$

apabila persamaan (3.17b) dikalikan $\{\phi_i\}^T$, maka

$$\omega_j^2 [M]\{\phi_i\}^T \{\phi_j\} = [K]\{\phi_i\}^T \{\phi_j\} \quad (3.20)$$

apabila persamaan (3.19) dikurangi dengan persamaan (3.20), maka akan diperoleh

$$(\omega_i^2 - \omega_j^2) \{\phi_i\}^T [M]\{\phi_j\} = 0 \quad (3.21)$$

karena $\omega_i^2 \neq \omega_j^2$, maka $\omega_i^2 - \omega_j^2 \neq 0$, sehingga

$$\{\phi_i\}^T [M]\{\phi_j\} = 0 \quad (3.22)$$

kondisi *orthogonal* berlaku pada matrik kekakuan $[K]$ dan kondisi *orthogonal*

dianggap berlaku jugaterhadap matrik redaman $[C]$, maka

$$\{\phi_i\}^T [K]\{\phi_j\} = 0 \quad i \neq j \quad (3.23a)$$

$$\{\phi_i\}^T [C]\{\phi_j\} = 0 \quad i \neq j \quad (3.23b)$$

$$\{\phi_i\}^T [C] \{\phi_j\} = 0 \quad i \neq j \quad (3.23b)$$

Untuk menyelesaikan persamaan simultan pada persamaan (3.17), maka persamaan (3.16b) dapat ditulis kembali menjadi

$$\{[K] - \omega^2 [M]\} \{\phi\} = 0 \quad (3.24)$$

Persamaan (3.24) akan ada penyelesaiannya (*nontrivial solution*) atau sistem akan ada amplitudo yang terbatas apabila nilai determinan $\{[K] - \omega^2 [M]\}$ adalah nol, maka

$$\{[K] - \omega^2 [M]\} = 0 \quad (3.25)$$

Determinan persamaan (3.25) akan menghasilkan persamaan polinomial dengan *degree-n* yang menghasilkan nilai ω_n , maka dengan mensubstitusikan ke dalam persamaan (3.24) akan menghasilkan nilai vektor *mode shape* $\{\phi\}_i$. Indeks *i* menunjukkan ragam/pola goyangan.

3.4. Simpangan Horizontal

Simpangan horizontal yang dimaksud adalah simpangan relatif tiap lantai, yaitu simpangan suatu massa yang diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap mode. Untuk menghitung simpangan relatif tiap lantai pada struktur digunakan metode *Upperbound* atau *Absolute Response*

$$P_j = \{\phi\}_j [M] \{1\}; \quad Z_j = \frac{P_j^*}{M_j^*} \frac{Cg}{\omega_j^2} \quad (3.26)$$

dengan M_j^* didefinisikan sebagai generalisasi massa, $[M]$ adalah matriks massa, $\{\phi\}$ adalah *mode shape*, $\{1\}$ adalah matriks satu, ω adalah frekuensi sudut, g adalah

percepatan gravitasi bumi dan C adalah koefisien gempa dasar (*basic seismic coefficient*) yang dapat dicari menurut daerah gempa, jenis tanah dan periode getar pada mode yang ditinjau dan simpangan lantai struktur pada masa yang ke- i (y_i) adalah

$$y_i = \sum_{j=1}^n [\phi_{ij} z_j] \quad (3.27)$$

dimana : y_i = simpangan relatif lantai ke- i

ϕ_{ij} = mode shape

z_j = modal amplitudo

3.5. Gaya Geser Dasar

Sesuai dengan prinsip elastik analisis untuk masalah dinamika struktur bahwa simpangan relatif, gaya lantai dan momen guling adalah elastik respon yang penting untuk dicari. Gaya horisontal lantai atau gaya lantai maksimum yang bekerja pada suatu massa sebagai kontribusi dari mode ke- i dapat dicari dengan rumus

$$F_i = k y_i \quad (3.28)$$

dimana: F_i = gaya lantai

k = kekakuan tingkat

y_i = simpangan relatif

Sedang gaya geser dasar (V), seperti terlihat pada Gambar 3.3, merupakan penjumlahan dari gaya lantai tetapi arahnya berlawanan.

$$V = - \left(\sum_{i=1}^n F_i \right) \quad (3.29)$$

3.6 Momen Guling ("Overturning Moment")

Momen guling didapat dengan mengalikan gaya lantai yang terjadi pada setiap tingkat (F_i) dengan elevasi lantai (h_i) seperti pada Gambar 3.3, maka

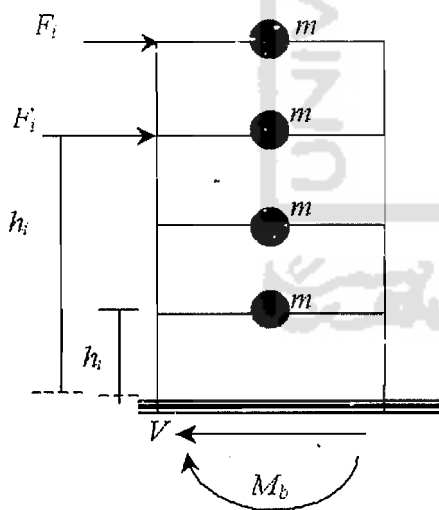
$$M_b = \sum_{i=1}^n F_i h_i \quad (3.30)$$

dimana : M_b = momen guling

F_i = gaya lantai

h_i = elevasi lantai

Notasi m yang tampak pada Gambar 3.3 menunjukkan massa pada tiap lantai.



Gambar 3.3 Momen Guling (M_b) dan Gaya Geser Dasar (V) akibat Gaya (F_i) dan jarak (h_i)

3.7. Dinding Pengisi Bata Merah

Bata merah yang dipakai pada penelitian tugas akhir ini disesuaikan dengan peraturan pada Bata Merah Sebagai Bahan Bangunan NI-10 (DPU, 1983). Hal ini dimaksudkan agar bata merah yang dipergunakan sesuai dengan aturan umum yang ada di Indonesia. Definisi bata merah sesuai dengan NI-10 adalah suatu unsur bangunan yang diperuntukkan pembuatan konstruksi bangunan dan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. Nama bata merah dipakai ialah untuk membedakan antara bata dari tanah yang dibuat dengan pembakaran dan bata beton atau tras-kapur, yang dibuat tanpa pembakaran. Sedangkan ukuran-ukuran standar bata merah sesuai dengan NI-10 adalah sebagai berikut ini

1. Bata merah : panjang 240 mm, lebar 115 mm, tebal 52 mm.
2. Bata merah : panjang 230 mm, lebar 110 mm, tebal 50 mm.

Kuat tekan bata merah menurut NI-10 digolongkan menjadi tiga bagian seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel kuat tekan bata merah

Mutu bata merah	Kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)
Tingkat I	lebih besar dari 100
Tingkat II	100 – 80
Tingkat III	80 – 60

Pada penelitian tugas akhir ini bata merah yang dipergunakan adalah bata merah dengan ukuran panjang 230 mm, lebar 110 mm, tebal 50 mm dengan kuat tekan dipakai 70 kg/cm² dan 90 kg/cm².

3.7.1 Kekakuan Dinding Pengisi Bata Merah.

Kekakuan dinding pengisi bata merah berdasarkan Gambar 3.4 untuk suatu struktur secara teoritis adalah sebagai berikut ini.

$$\Delta = \frac{F_j}{\cos \varphi} \frac{d}{w} \frac{1}{E_{bata}} \frac{1}{\cos \varphi} \quad (3.31)$$

dimana : Δ = perubahan bentuk horisontal,

F_j = beban horisontal,

w = lebar *diagonal strut*,

d = *equivalent diagonal strut*,

t = tebal bata,

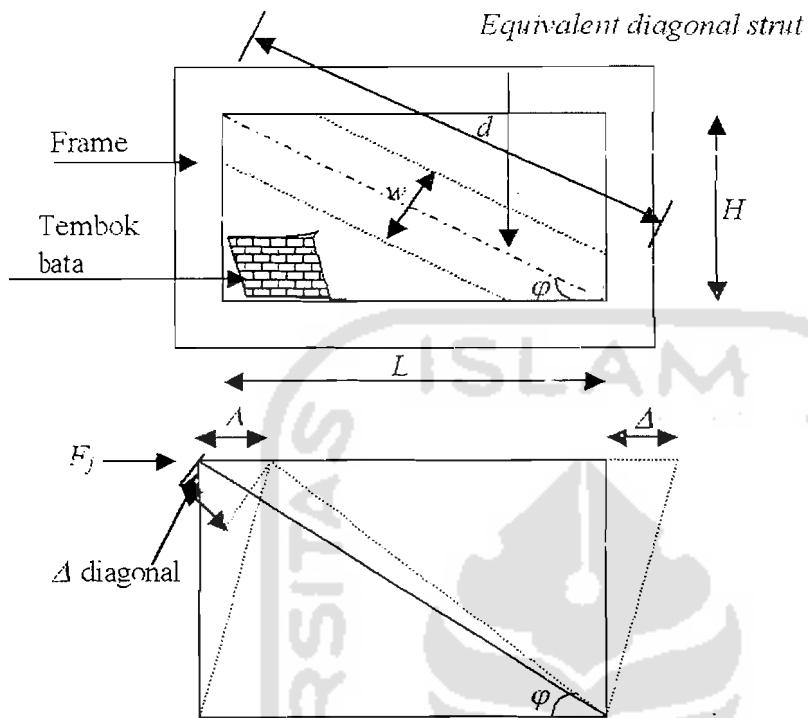
E_{bata} = modulus elastisitas pasangan bata.

Nilai modulus elastisitas pasangan bata ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Scarlat, 1996).

$$E_{bata} = 70,307 f_m \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3.32)$$

dimana : E_{bata} = modulus elastisitas pasangan bata,

f_m = kuat tekan bata merah.



Gambar 3.4 Gambar *equivalent diagonal strut* dan perubahan bentuk horizontal (Δ) akibat beban F_j

Penentuan nilai lebar *diagonal struts* (w) ditentukan dari Tabel 3.2. (Scarlat, 1996).

Tabel 3.2 Tabel penentuan lebar *diagonal struts* (w)

L/H	1	1,5	2	2,5
w/d	0,45	0,4	0,34	0,3

dimana : w = lebar *diagonal strut*,

d = *equivalent diagonal strut*.

Persamaan kekakuan dinding bata merah :

$$K_{bata} = E_{bata} (L^2 / (L^2 + H^2)) (w/d) (5t) \quad (3.33)$$

Dimana : K_{bata} = kekakuan dinding pengisi bata merah,

E_{bata} = modulus elastisitas pasangan bata,

L = panjang tembok,

H = tinggi tembok,

w = lebar *diagonal strut*,

d = *equivalent diagonal strut*,

t = tebal dinding

3.8. Resonansi (*resonance*)

Bila seseorang menggoyang sebuah tiang dengan cara mendorong dan menarik berkali-kali maka orang itu harus mempelajari waktu yang tepat saat mendorong dan menarik tiang tersebut. Agar goyangan dapat maksimum maka saat mendorong dan menarik tiang harus sesuai dengan waktu goyang tiang tersebut. Jangka waktu antara dorong sampai dorong berikutnya disebut waktu getar alami tiang. Bila saat dorong tarik itu sesuai dengan yang terjadi pada tiang maka goyangan tiang akan semakin besar. Keadaan ini disebut tiang beresonansi, akibatnya amplitudo getaran semakin besar dan percepatan ujung atas tiang semakin besar pula.

Getaran tanah pada saat terjadi gempa membuat gedung bergetar dengan cara serupa seperti orang menggetarkan tiang. Waktu getar alami gedung bervariasi antara 0,1 sampai 3 detik. Waktu getar tanah berkisar antara 0,5 sampai 1 detik tergantung

jenis dan tebal lapisannya. Berdasarkan waktu getar alami gedung dan waktu getar tanah dapat ditemui kemungkinan kesamaan waktu getar. Bila waktu getar alami gedung sama dengan waktu getar tanah, maka gedung akan mengalami resonansi. Untuk menghindari terjadinya resonansi, maka perlu dibuat agar waktu getar gedung berbeda dengan waktu getar tanah. Biasanya waktu getar gedung lebih mudah diubah daripada mengubah waktu getar tanah. Waktu getar alami gedung dapat diubah dengan cara sebagai berikut ini.

1. Mengubah posisi massa sedikit ke bawah.
2. Mengubah tinggi kolom.
3. Mengubah luas tampang kolom.
4. Mengubah bahan kolom (misalnya kolom terbuat dari beton diganti dengan kolom yang terbuat dari baja).

Resonansi lebih sering terjadi pada gedung tinggi yang terletak di atas tanah lunak daripada gedung yang terletak di atas tanah keras. Hal ini karena getaran pada tanah lunak lebih harmonis daripada getaran pada tanah keras. Getaran pada tanah keras berupa getaran yang tidak beraturan karena meneruskan semua getaran, sedangkan pada tanah lunak getaran yang berwaktu getar panjang saja yang diteruskan.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian yang diuraikan menurut suatu urutan yang sistematis, untuk mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan. Metodologi yang dipergunakan dalam tugas akhir ini meliputi data yang diperlukan, pengolahan data dan pengujian sebagaimana yang akan diuraikan sebagai berikut ini.

4.1. Data yang Diperlukan

Pada penelitian ini digunakan suatu model *shear building* yang paling sederhana, untuk mempermudah melihat perbedaan hasil yang akan diteliti. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut ini.

1. Struktur merupakan model dari *shear building* dengan 4 mode dengan massa dan kekakuan yang telah ditentukan.
2. Data mengenai dinding pengisi bata merah yang dipakai mengacu dari Bata Merah sebagai Bahan Bangunan NI-10 (DPU, 1983).
3. Beban gempa yang dipakai adalah beban gempa berupa spektrum respons, seperti yang tercantum dalam PPTGIUG 1981 dengan asumsi tanah pendukungnya termasuk tanah keras

4. Perhitungan matrik menggunakan program bantu MATLAB (Hanselman dan Littlefield, 1997).

Data-data penulisan tugas akhir ini mengacu pada buku-buku dan teori-teori yang berhubungan.

4.2. Pengolahan Data

Setelah data terkumpul maka dilakukan pengolahan dan analisis data dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.

1. Menghitung massa tiap lantai (m)
2. Menghitung inersia kolom (I_x)
3. Menghitung kekakuan kolom (K)
4. Menghitung kekakuan tembok bata (K_{bata})
5. Membuat persamaan *eigen problem*
6. Menghitung frekuensi sudut (ω)
7. Menghitung waktu getar alami (T)
8. Menentukan koefisien gempa dasar (C)
9. Menghitung *mode shape* (ϕ_j)
10. Menghitung partisipasi tiap mode (Γ_j)
11. Menghitung simpangan horisontal tiap mode $\{y_j\}$
12. Menghitung gaya horisontal tiap mode (F_i)
13. Menghitung simpangan relatif tiap lantai (y_i)

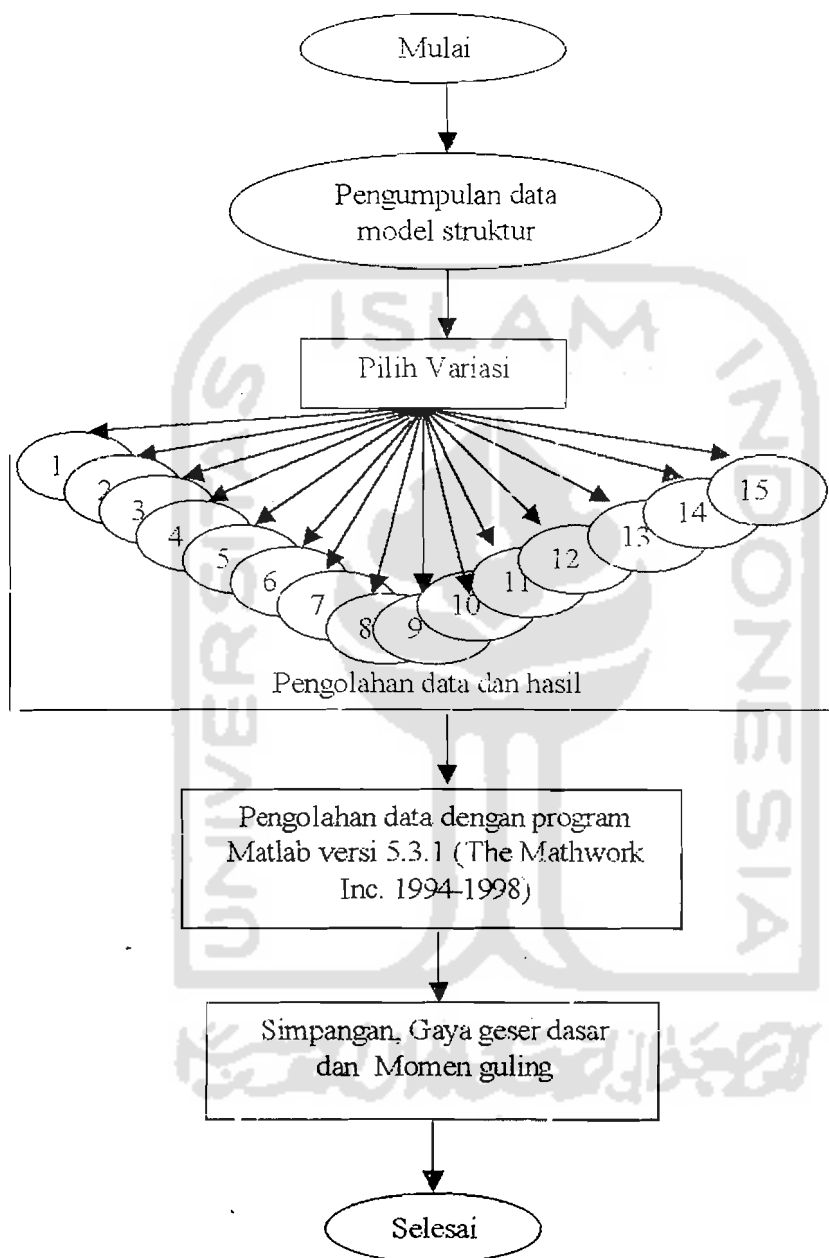
14. Menghitung gaya geser dasar (V)

15. Menghitung momen guling (M_b)

4.3. Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini mencakup pengaruh penambahan dinding pengisi bata merah terhadap simpangan horisontal tiap lantai, gaya geser dasar dan momen guling dengan urutan *flow chart* seperti terlihat pada Gambar 4.1.





Gambar 4.1 Bagan Alir Pengerjaan

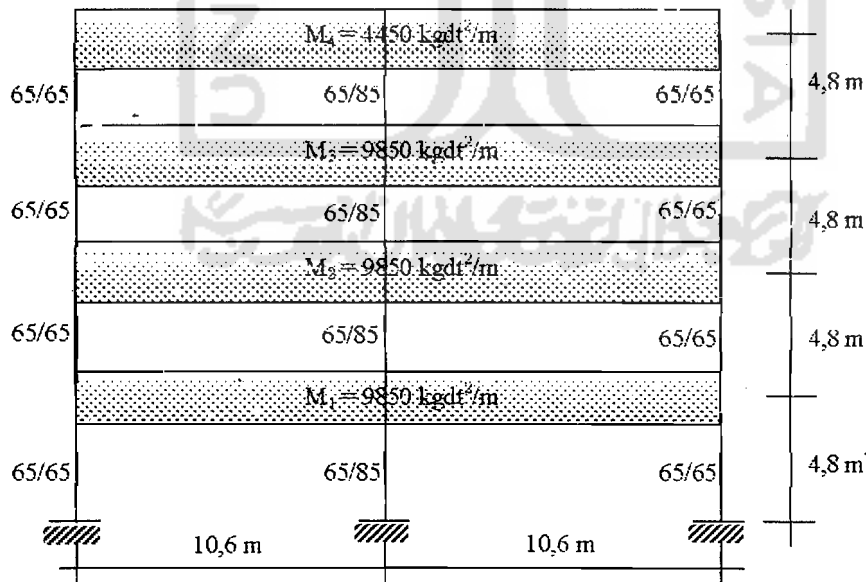
BAB V

HITUNGAN DAN HASIL

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan cara memvariasikan letak dinding pengisi bata merah mutu 70 kg/cm^2 dan 90 kg/cm^2 . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan kalkulator dan program bantu MATLAB (The Mathworks Inc, 1999). Hasil dari perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

5.1 Model Struktur

Data struktur yang digunakan dalam analisis ini diperoleh dari perencanaan Gedung Laboratorium Teknologi X ITB. Model struktur seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Portal Model Struktur

5.2 Perhitungan Massa Tingkat

1. Massa balok 1

$$m_1 = W_1/g$$

$$\text{Beban mati : } (3646 \cdot 10,6) \cdot 2 = 77295,2 \text{ kg}$$

$$\text{Beban hidup : } (900 \cdot 10,6) \cdot 2 = 1980 \text{ kg}$$

$$m_1 = \frac{96375,2}{9,81} = 9824,1794 \approx 9850 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

2. Massa balok 2

$$m_2 = W_2/g$$

$$\text{Beban mati : } (3646 \cdot 10,6) \cdot 2 = 77295,2 \text{ kg}$$

$$\text{Beban hidup : } (900 \cdot 10,6) \cdot 2 = 1980 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{96375,2}{9,81} = 9824,1794 \approx 9850 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

3. Massa balok 3

$$m_3 = W_3/g$$

$$\text{Beban mati : } (3646 \cdot 10,6) \cdot 2 = 77295,2 \text{ kg}$$

$$\text{Beban hidup : } (900 \cdot 10,6) \cdot 2 = 1980 \text{ kg}$$

$$m_3 = \frac{96375,2}{9,81} = 9824,1794 \approx 9850 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

4. Massa balok 4

$$m_4 = W_4/g$$

$$\text{Beban mati : } (1550 \cdot 10,6) \cdot 2 = 32860 \text{ kg}$$

$$\text{Beban hidup : } (490 \cdot 10,6) \cdot 2 = 10388 \text{ kg}$$

$$43248 \text{ kg}$$

$$m_4 = \frac{43248}{9,81} = 4408,5626 \approx 4450 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

5.3 Variasi Letak Dinding Pengisi Bata Merah

Variasi penambahan dinding pengisi bata merah yang akan dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.1. Dalam analisis ini sebagai contoh perhitungan digunakan struktur portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Untuk struktur dengan variasi penambahan dinding pengisi bata merah karena menggunakan tata cara perhitungan yang sama akan ditampilkan dalam bentuk tabel-tabel selanjutnya.

Tabel 5.1 Variasi-variasi penambahan dinding pengisi bata merah

Variasi	Letak dinding pengisi bata merah	Mutu bata merah
1	Tanpa dinding pengisi	-
2	Tingkat 1	70 kg/cm ²
3	Tingkat 2	70 kg/cm ²
4	Tingkat 3	70 kg/cm ²
5	Tingkat 4	70 kg/cm ²

Variasi	Letak dinding pengisi bata merah	Mutu bata merah
6	Tingkat 1 dan 2	70 kg/cm ²
7	Tingkat 1,2 dan 3	70 kg/cm ²
8	Setiap tingkat	70 kg/cm ²
9	Tingkat 1	90 kg/cm ²
10	Tingkat 2	90 kg/cm ²
11	Tingkat 3	90 kg/cm ²
12	Tingkat 4	90 kg/cm ²
13	Tingkat 1 dan 2	90 kg/cm ²
14	Tingkat 1, 2 dan 3	90 kg/cm ²
15	Setiap tingkat	90 kg/cm ²

5.4 Perhitungan Portal tanpa Dinding Pengisi Bata Merah

Perhitungan portal tanpa dinding pengisi bata merah dijadikan sebagai contoh untuk perhitungan yang lain karena portal ini akan dijadikan acuan pembandingan bagi variasi-variasi selanjutnya.

5.4.1 Perhitungan Nilai Kekakuan

Perhitungan nilai kekakuan

Inersia untuk dimensi kolom 65/65 :

$$I_x = 1/12 (0,65)^4 = 1,488 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

Inersia untuk dimensi kolom 65/85 :

$$I_x = 1/12 \cdot 0,65 \cdot 0,85^3 = 3,327 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4.$$

Perhitungan kekakuan kolom dengan nilai $E = 2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 = 2 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$.

$$K_1 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2 \cdot 10^9 \cdot 1,488 \cdot 10^{-2} / (4,8)^3 = 3229166,667 \text{ kg/m}'$$

$$\approx 3250000 \text{ kg/m}'$$

$$K_1' = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2 \cdot 10^9 \cdot 3,327 \cdot 10^{-2} / (4,8)^3 = 7220052,083 \text{ kg/m}'$$

$$\approx 7250000 \text{ kg/m}'$$

Perhitungan kekakuan tingkat ekuivalen

$$K_1 = (3250000 + 3250000) + 7250000 = 13750000 \text{ kg/m}'.$$

$$K_2 = K_3 = K_4 = 13750000 \text{ kg/m}'.$$

Unit satuan kekakuan adalah $10^7 \text{ kg/m}'$

5.4.2 Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

Massa tingkat yang dipergunakan dalam penelitian ini seperti yang terlihat pada Gambar 5.1. Sedangkan unit satuan massa yang dipakai adalah $1 \cdot 10^4 \text{ kgdt}^2/\text{m}'$ dan untuk unit satuan kekakuan adalah $1 \cdot 10^7 \text{ kgdt}^2/\text{m}'$.

Matriks massa $[M]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Persamaan *eigen problem*

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\omega^2 m & -1,375k & 0 & 0 \\ -1,375k & 2,75-0,985\omega^2 m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2 m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.3)$$

dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.4)$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1 \quad (5.5)$$

$$\phi_2 = 2 - 0,71636\lambda \quad (5.6)$$

$$\phi_3 = 3 - 2,86545\lambda + 0,51318\lambda^2 \quad (5.7)$$

$$\phi_4 = 4 - 7,16364\lambda + 3,07906\lambda^2 - 0,36762\lambda^3 \quad (5.8)$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,16359\lambda^4 - 1,87566\lambda^3 + 6,71591\lambda^2 - 7,69\lambda + 1,375 = 0 \quad (5.9)$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,217738 \quad ; \quad \lambda_3 = 3,955622$$

$$\lambda_2 = 1,765852 \quad ; \quad \lambda_4 = 5,526404 \quad (5.10)$$

Dari nilai-nilai tersebut, maka diperoleh nilai frekuensi sudut seperti berikut ini :

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = \sqrt{0,217738 \frac{10E7}{10E4}} = 14,75663 \text{ rad/dt}, \quad T_i = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,42579 \text{ dt} \quad (5.11)$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = \sqrt{1,765852 \frac{10E7}{10E4}} = 42,02204 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,14952 \text{ dt} \quad (5.12)$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = \sqrt{3,955622 \frac{10E7}{10E4}} = 62,89374 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,0999 \text{ dt} \quad (5.13)$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = \sqrt{5,526404 \frac{10E7}{10E4}} = 74,33979 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,08452 \text{ dt} \quad (5.14)$$

Nilai koefisien gempa dasar didapat dari grafik hubungan antara periode (T) dengan koefisien gempa dasar (C) pada buku Pedoman Perencanaan Untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1981 dengan wilayah gempa 2 dan tanah keras.

$$T_1 = 0,42579 \text{ dt}, \quad \text{maka } C_1 = 0,07 \quad (5.15)$$

$$T_2 = 0,14952 \text{ dt}, \quad \text{maka } C_2 = 0,07 \quad (5.16)$$

$$T_3 = 0,0999 \text{ dt}, \quad \text{maka } C_3 = 0,07 \quad (5.17)$$

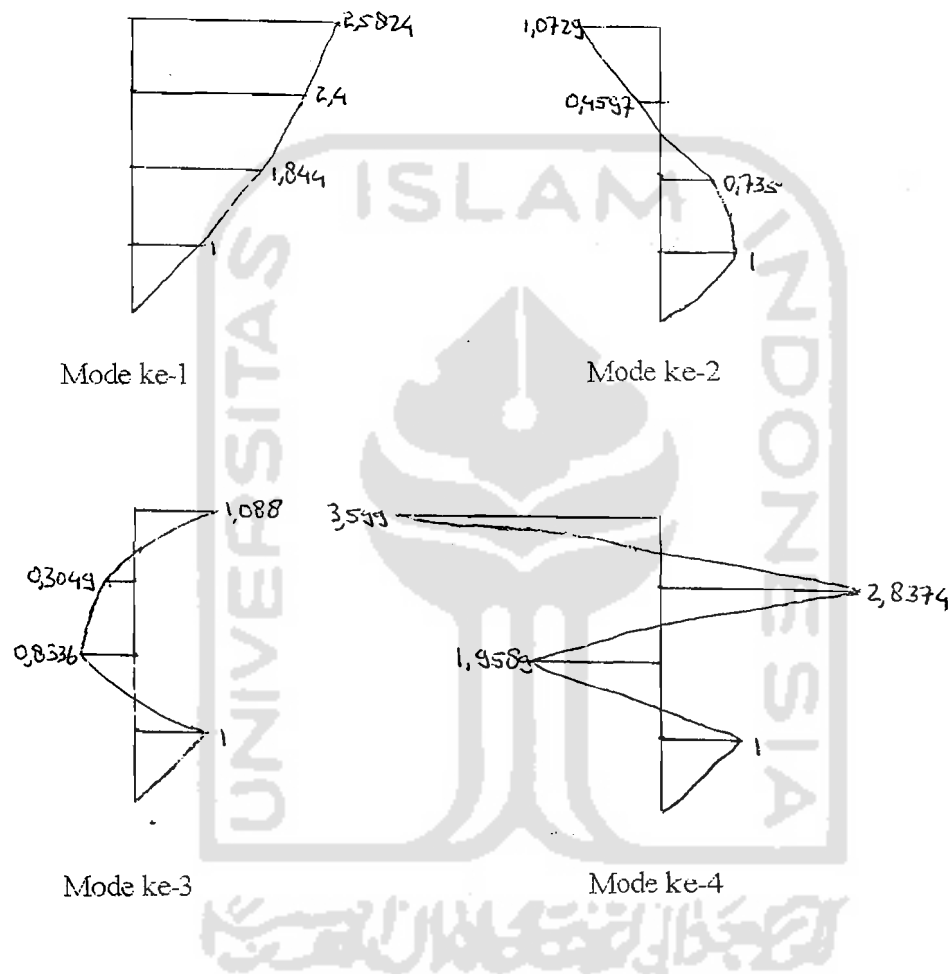
$$T_4 = 0,08452 \text{ dt}, \quad \text{maka } C_4 = 0,07 \quad (5.18)$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,844020 \\ 2,400412 \\ 2,582386 \end{Bmatrix}; \quad \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,735014 \\ -0,459746 \\ -1,072941 \end{Bmatrix};$$

$$\{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,833649 \\ -0,304938 \\ 1,087979 \end{Bmatrix}; \quad \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,958895 \\ 2,837468 \\ -3,599053 \end{Bmatrix} \quad (5.19)$$

Nilai-nilai tersebut selanjutnya digambar seperti pada Gambar 5.2 di bawah ini. Maksud penggambaran adalah untuk mengetahui pola/ragam goyangan untuk struktur yang bersangkutan.



Gambar 5.2 Pola goyangan atau *mode shape*

5.4.3 Simpangan Horizontal Tiap Mode

- Kontribusi mode ke-1

$$P_1^* = \{\phi_1\}^T [M] \{1\} = \begin{bmatrix} 1 & 1,84402 & 2,400412 & 2,582386 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= 6,31493 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.20)$$

$$M_1^* = \{\phi_1\}^T [M] \{\phi_1\} = \begin{bmatrix} 1 & 1,84402 & 2,400412 & 2,582386 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1,84402 \\ 2,400412 \\ 2,582386 \end{bmatrix}$$

$$= 12,97753 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.21)$$

Partisipasi mode ke-1 $\Gamma_1 = \frac{P_1^*}{M_1^*} = \frac{6,31493}{12,97753} = 0,4866$ (5.22)

$$\{v\}_1 = \{\phi_1\} \frac{P_1^* C g}{M_1^* \omega^2} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1,844020 \\ 2,400412 \\ 2,582386 \end{bmatrix} \frac{6,31493 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{12,97753 \cdot 14,75663^2} = \begin{bmatrix} 1,5245 \\ 2,8296 \\ 3,6834 \\ 3,9627 \end{bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad (5.23)$$

- Kontribusi mode ke-2

$$P_2^* = \{\phi_2\}^T [M] \{1\} = \begin{bmatrix} 1 & 0,735014 & -0,459746 & -1,072941 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= 0,77868 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.24)$$

$$M_2^* = \{\phi_2\}^T [M] \{\phi_2\} = \begin{bmatrix} 1 & 0,735014 & -0,459746 & -1,072941 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0,735014 \\ -0,459746 \\ -1,072941 \end{bmatrix}$$

$$= 2,23762 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.25)$$

$$\text{Partisipasi mode ke-2 } \Gamma_2 = \frac{P_2^*}{M_2^*} = \frac{0,77868}{2,23762} = 0,34799 \quad (5.26)$$

$$\{y\}_2 = \{\phi\}_2 \frac{P_2^* C g}{M_2^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,735014 \\ -0,459746 \\ -1,072941 \end{Bmatrix} \frac{0,77868 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{2,23762 \cdot 42,02204^2} = \begin{Bmatrix} 13,5325 \\ 9,9466 \\ -6,2215 \\ -14,5196 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} \quad (5.27)$$

- Kontribusi mode ke-3

$$P_3^* = |\phi_3^T [M] \{1\}| = \begin{vmatrix} 1 & -0,833649 & -0,304938 & 1,087979 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 0,34764 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.28)$$

$$M_3^* = |\phi_3^T [M] \{\phi\}_3| = \begin{vmatrix} 1 & -0,833649 & -0,304938 & 1,087979 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,833649 \\ -0,304938 \\ 1,087979 \end{Bmatrix}$$

$$= 2,28788 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.29)$$

$$\text{Partisipasi mode ke-3} = \Gamma_3 = \frac{P_3^*}{M_3^*} = \frac{0,34764}{2,28788} = 0,15195 \quad (5.30)$$

$$\{y\}_3 = \{\phi\}_3 \frac{P_3^* C g}{M_3^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,833649 \\ -0,304938 \\ 1,087979 \end{Bmatrix} \frac{0,34764 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{2,28788 \cdot 62,89374^2} = \begin{Bmatrix} 26,379 \\ -21,991 \\ -8,044 \\ 28,699 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} \quad (5.31)$$

- Kontribusi mode ke-4

$$P_4^* = \{\phi\}_4^T [M] \{1\} = \begin{bmatrix} 1 & -1,958895 & 2,837468 & -3,599053 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 0,24882 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.32)$$

$$M_4^* = \{\phi\}_4^T [M] \{\phi\}_4 = \begin{bmatrix} 1 & -1,958895 & 2,837468 & -3,599053 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,958895 \\ 2,837468 \\ -3,599053 \end{Bmatrix}$$

$$= 18,45933 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad (5.33)$$

$$\text{Partisipasi mode ke-4} = \Gamma_4 = \frac{P_4^*}{M_4^*} = \frac{0,24882}{18,45933} = 0,01348 \quad (5.34)$$

$$\{y\}_4 = \{\phi\}_4 \frac{P_4^* C g}{M_4^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,958895 \\ 2,837468 \\ -3,599053 \end{Bmatrix} \frac{0,24882 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{18,45933 \cdot 74,33979^2} = \begin{Bmatrix} 1,675 \\ -3,281 \\ 4,753 \\ -6,028 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} \quad (5.35)$$

5.4.4 Gaya Horizontal Tiap Mode

- Mode ke-1

$$F_1 = [M] \{\phi\}_1 \frac{P_1^*}{M_1^*} C g = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84402 \\ 2,400412 \\ 2,582386 \end{Bmatrix} 0,4866 \cdot 0,07 \cdot 9,81 = \begin{Bmatrix} 0,3291 \\ 0,6069 \\ 0,79 \\ 0,3839 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

$$(5.36)$$

- Mode ke-2

$$F_2 = [M] \{\phi\}_2 \frac{P_2^*}{M_2^*} C g = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,735014 \\ -0,459746 \\ -1,072941 \end{Bmatrix} 0,34799 \cdot 0,07 \cdot 9,81 = \begin{Bmatrix} 0,2354 \\ 0,1730 \\ -0,1082 \\ -0,1141 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

$$(5.37)$$

- Mode ke-3

$$F_3 = [M]\{\phi\}_3 \frac{P_3^*}{M_3} C g = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,833649 \\ -0,304938 \\ 1,087979 \end{Bmatrix} \cdot 0,15195 \cdot 0,07 \cdot 9,81 = \begin{Bmatrix} 0,1028 \\ -0,0857 \\ -0,0314 \\ 0,0505 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

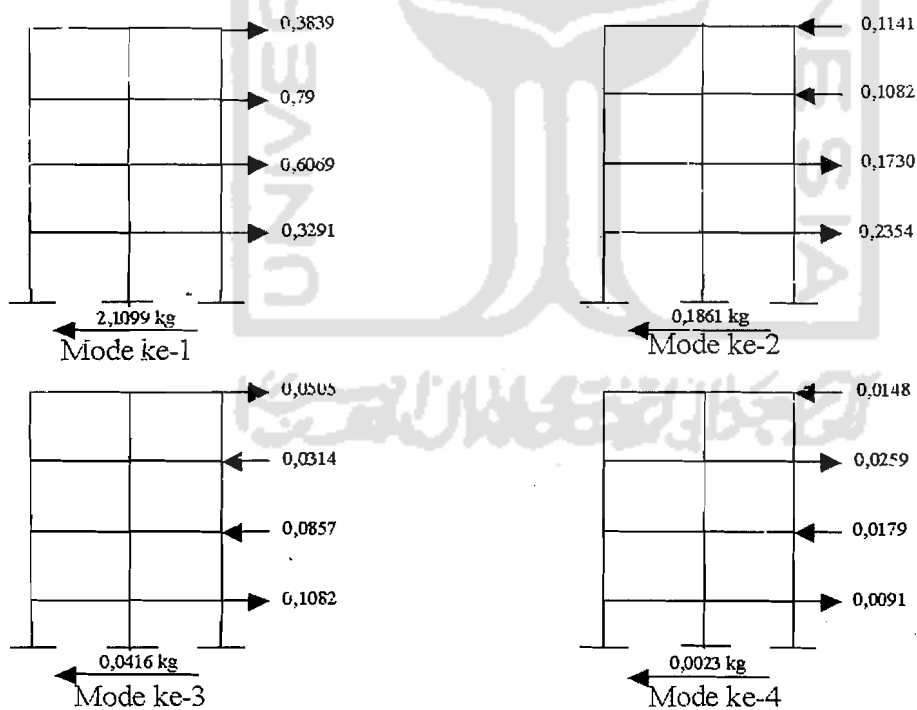
(5.38)

- Mode ke-4

$$F_4 = [M]\{\phi\}_4 \frac{P_4^*}{M_4} C g = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,958895 \\ 2,837468 \\ -3,599053 \end{Bmatrix} \cdot 0,01348 \cdot 0,07 \cdot 9,81 = \begin{Bmatrix} 0,0091 \\ -0,0179 \\ 0,0259 \\ -0,0148 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

(5.39)

Apabila hasil gaya horisontal digambar maka akan diperoleh Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Gaya Geser Tingkat Untuk Tiap Mode

5.4.5. Simpangan Relatif tiap Lantai

Simpangan relatif, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$\bullet \quad y_1 = 1,5345 \cdot 10^{-3} + 13,5325 \cdot 10^{-5} + 26,379 \cdot 10^{-6} + 1,675 \cdot 10^{-6} = 1,69788 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (5.40)$$

$$\bullet \quad y_2 = 2,8296 \cdot 10^{-3} + 9,9466 \cdot 10^{-5} + 21,991 \cdot 10^{-6} + 3,281 \cdot 10^{-6} = 2,95434 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (5.41)$$

$$\bullet \quad y_3 = 3,6834 \cdot 10^{-3} + 6,2215 \cdot 10^{-5} + 8,044 \cdot 10^{-6} + 4,753 \cdot 10^{-6} = 3,7584 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (5.42)$$

$$\bullet \quad y_4 = 3,9627 \cdot 10^{-3} + 14,5196 \cdot 10^{-5} + 28,699 \cdot 10^{-6} + 6,028 \cdot 10^{-6} = 4,14262 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (5.43)$$

5.4.6 Gaya Geser Tingkat dan Gaya Geser Dasar

Dari penjumlahan gaya geser horisontal kontribusi tiap mode, maka didapat gaya geser tingkat dan gaya geser dasar. Hasil perhitungan gaya horisontal tiap mode pada sub bab 5.4.4 merupakan hasil sebelum dikalikan dengan unit satuan massa sebesar $1 \cdot 10^4$. Sehingga gaya horisontal tingkat yang sebenarnya harus dikalikan dengan $1 \cdot 10^4$. Gaya geser tingkat (F) yang dihasilkan sebesar

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6764 \\ 0,6763 \\ 0,6763 \\ 0,3055 \end{Bmatrix} 10^4 \text{ kg} \quad (5.44)$$

Gaya geser dasar (V)

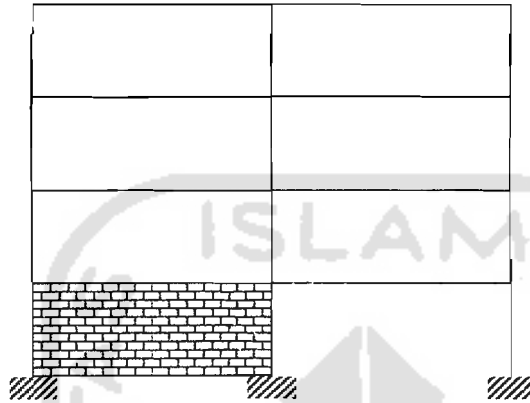
$$V = (0,6764 + 0,6763 + 0,6763 + 0,3055) \cdot 1 \cdot 10^4 = 2,3345 \cdot 10^4 \text{ kg} \quad (5.45)$$

5.4.7 Perhitungan Momen Guling

Momen guling pada gedung beringkat didapat :

$$\begin{aligned} M_b &= (0,6764 \cdot 10^4 \cdot 4,8) + (0,6763 \cdot 10^4 \cdot 9,6) + (0,6763 \cdot 10^4 \cdot 14,4) + (0,3055 \cdot 10^4 \cdot 19,2) \\ &= 25,34352 \cdot 10^4 \text{ kg m} \end{aligned} \quad (5.46)$$

5.5 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 1 (Variasi 2)



Gambar 5.4 Struktur Dengan Variasi 2

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 1 (variasi 2) seperti Gambar 5.4 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 70 kg/cm^2 :

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 70 = 4921,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} (L^2 / (L^2 + H^2)) (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 4921,49 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 86009,820025 \text{ kg/cm} \approx 0,861 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matrik massa dan matrik kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 3,611 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 3,611-0,985\lambda & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

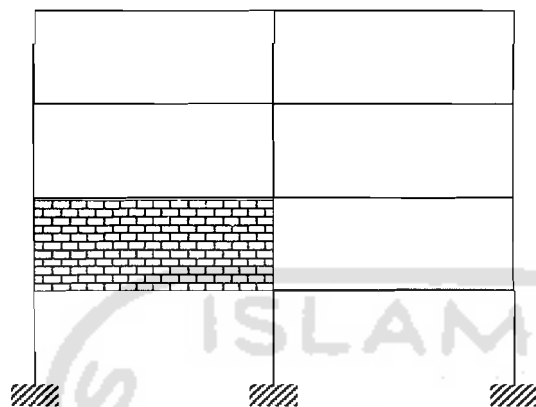
$$\{\phi_1\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2,435446 \\ 3,406363 \\ 3,727578 \end{bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1,127612 \\ -0,434584 \\ -1,345515 \end{bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -0,514375 \\ -0,413253 \\ 0,985847 \end{bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1,383667 \\ 1,781109 \\ -2,195800 \end{bmatrix} \quad (5.47)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 2

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,00104416 m	0,00231146 m	0,00309462 m	0,00353675 m
Gaya geser dasar	2,3348.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,34736.10 ⁴ kg m			

5.6 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 2 (Variasi 3)



Gambar 5.5 Struktur Dengan Variasi 3

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 2 (variasi 3) seperti Gambar 5.5 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 70 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 70 = 4921,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \left(\frac{I^2}{I^2 + H^2} \right) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 4921,49 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 86009,820025 \text{ kg/cm} \approx 0,861 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matrik massa dan matrik kekakuan.

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 3,611 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 3,611 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$



Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 3,611-0,985\lambda & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 3,611-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

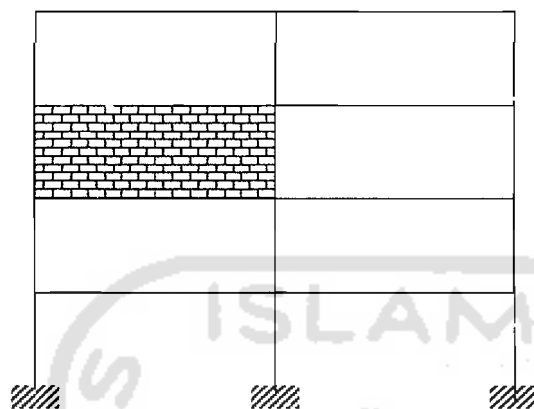
$$\{\phi_1\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1,504532 \\ 2,054863 \\ 2,236250 \end{bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,829888 \\ -0,506186 \\ -1,196043 \end{bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -0,492155 \\ -1,232263 \\ 2,250463 \end{bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1,203324 \\ 0,728520 \\ -0,677336 \end{bmatrix} \quad (5.48)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 3

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,0016981 m	0,0024656 m	0,0032923 m	0,0036647 m
Gaya geser dasar	2,3347 10^4 kg			
Momen guling	25,34928 10^4 kg m			

5.7 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 3 (Variasi 4)



Gambar 5.5 Struktur Dengan Variasi 4

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 3 (variasi 4) seperti Gambar 5.5 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 70 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 70 = 4921,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 4921,49 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 86009,820025 \text{ kg/cm} \approx 0,861 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matrik massa dan matrik kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 3,611 & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 3,611 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 3,611-0,985\lambda & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 3,611-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

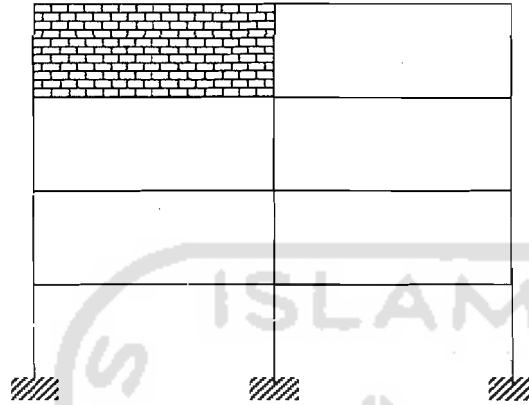
$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,83476 \\ 2,161652 \\ 2,336041 \end{Bmatrix}, \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,447374 \\ -0,319607 \\ -1,070571 \end{Bmatrix}, \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,885305 \\ -0,448117 \\ 1,562735 \end{Bmatrix}, \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -2,862466 \\ 3,321458 \\ -2,771805 \end{Bmatrix} \quad (5.49)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 4

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,0016801 m	0,0029427 m	0,0034023 m	0,0038048 m
Gaya geser dasar	2,3346.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,34592.10 ⁴ kg m			

5.8 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 4 (Variasi 5)



Gambar 5.7 Struktur Dengan Variasi 5

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 4 (variasi 5) seperti Gambar 5.7 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 70 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 70 = 4921,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{bata} = E_{bata} \left(L^2 / (L^2 + H^2) \right) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t$$

$$= 4921,49 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13$$

$$= 86009,820025 \text{ kg/cm} \approx 0,861 \cdot 10^7 \text{ kg/m}$$

Penyusunan matriks massa dan matriks kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 3,611 & -2,236 \\ 0 & 0 & -2,236 & 2,236 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 3,611-0,985\lambda & -2,236 \\ 0 & 0 & -2,236 & 2,236-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

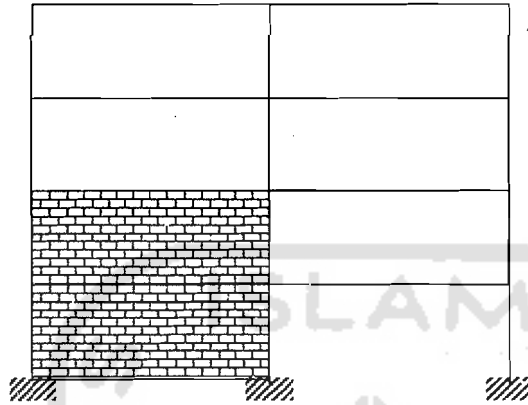
$$\{\phi_1\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1,843069 \\ 2,396902 \\ 2,506167 \end{bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,679559 \\ -0,538189 \\ -0,849994 \end{bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1,046533 \\ 0,095340 \\ 0,619328 \end{bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -3,701600 \\ 12,702294 \\ -24,74362 \end{bmatrix} \quad (5.50)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 5

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,0016979 m	0,0029531 m	0,003765 m	0,00398715 m
Gaya geser dasar	$2,3347 \cdot 10^4$ kg			
Momen guling	$25,34688 \cdot 10^4$ kg m			

5.9 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 1&2 (Variasi 6)



Gambar 5.8 Struktur Dengan Variasi 6

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 1 dan 2 (variasi 6) seperti Gambar 5.8 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 70 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 70 = 4921,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 4921,49 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 86009,820025 \text{ kg/cm} \approx 0,861 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matrik massa dan matrik kekakuan :

Matriks massa $[M]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 4,472 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 3,611 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 2,236 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4,472-0,985\lambda & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 3,611-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,859530 \\ 2,832508 \\ 3,158456 \end{Bmatrix}, \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,077277 \\ -0,413529 \\ -1,283784 \end{Bmatrix}, \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,17876 \\ -1,462327 \\ 2,435717 \end{Bmatrix}, \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,963945 \\ 0,488348 \\ -0,411973 \end{Bmatrix} \quad (5.51)$$

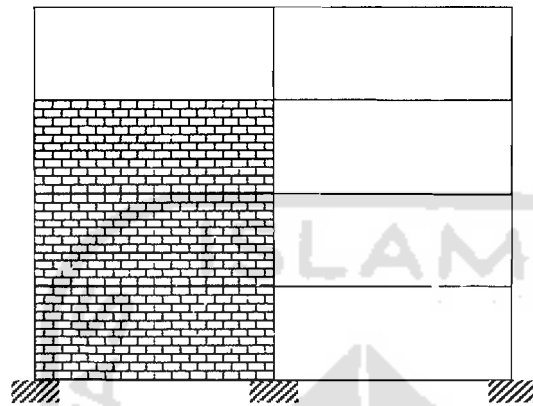
Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 6

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,00104424 m	0,00181936 m	0,00262744 m	0,00303154 m
Gaya geser dasar	2,3349.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,3488.10 ⁴ kg m			

5.10 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 1, 2 & 3

(Variasi 7)



Gambar 5.9 Struktur Dengan Variasi 7

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 1, 2 dan 3 (variasi 7) seperti Gambar 5.9 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 70 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 70 = 4921,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 4921,49 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 86009,820025 \text{ kg/cm} \approx 0,861 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matrik massa dan matrik kekakuan :

Matriks massa $[M]$.

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 4,472 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 4,472 & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 3,611 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4,472-0,985\lambda & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 4,472-0,985\lambda & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 3,611-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

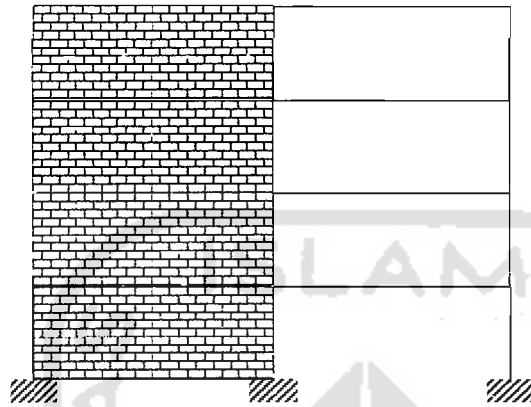
$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,845636 \\ 2,406371 \\ 2,714171 \end{Bmatrix}, \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,860143 \\ -0,260139 \\ -1,599864 \end{Bmatrix}, \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,26193 \\ -0,931337 \\ 1,405079 \end{Bmatrix}, \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,420173 \\ 1,017021 \\ -0,67825 \end{Bmatrix} \quad (5.52)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 7

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,001044i m	0,00181399m	0,0023047 m	0,00271389m
Gaya geser dasar	2,3351.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,34928.10 ⁴ kg m			

5.11 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah Penuh (Variasi 8)



Gambar 5.10 Struktur Dengan Variasi 8

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah setiap tingkat (variasi 8) seperti Gambar 5.10 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 70 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 70 = 4921,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 4921,49 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 86009,820025 \text{ kg/cm} \approx 0,861 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matrik massa dan matrik kekakuan :

Matriks massa $[M]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 4,472 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 4,472 & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 4,472 & -2,236 \\ 0 & 0 & -2,236 & 2,236 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4,472-0,985\lambda & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 4,472-0,985\lambda & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 4,472-0,985\lambda & -2,236 \\ 0 & 0 & -2,236 & 2,236-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

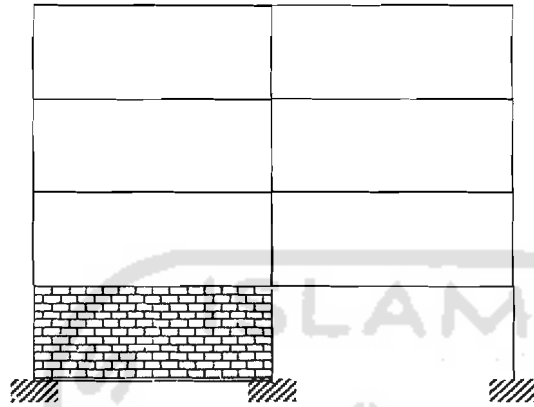
$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84402 \\ 2,400409 \\ 2,582384 \end{Bmatrix}, \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,734971 \\ -0,459799 \\ -1,073041 \end{Bmatrix}, \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,833191 \\ -0,305705 \\ 1,086775 \end{Bmatrix}, \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,959576 \\ 2,840111 \\ -3,608627 \end{Bmatrix} \quad (5.53)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 8

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,001041 m	0,0018178 m	0,0023114 m	0,0025475 m
Gaya geser dasar	2,3352.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,34976.10 ⁴ kg m			

5.12 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 1 (Variasi 9)



Gambar 5.11 Struktur Dengan Variasi 9

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 1 (variasi 9) seperti Gambar 5.11 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 90 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 90 = 6327,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 6327,63 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 110584,405 \text{ kg/cm} \approx 1,11 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matriks massa dan matriks kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 3,86 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 3,86-0,985\lambda & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

$$\{\phi_1\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2,60978 \\ 3,70417 \\ 4,06702 \end{bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1,25680 \\ -0,43502 \\ -1,45237 \end{bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -0,43050 \\ -0,46703 \\ 1,00874 \end{bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1,22778 \\ 1,49878 \\ -1,82197 \end{bmatrix} \quad (5.54)$$

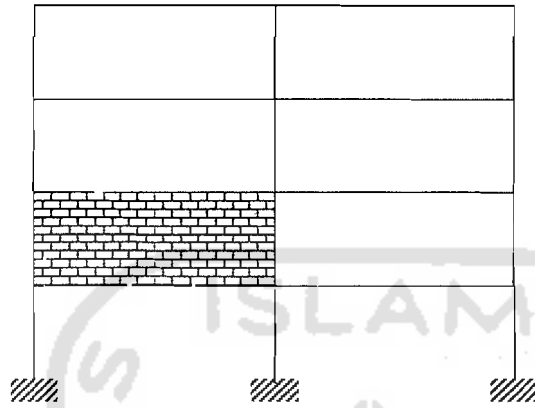
Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen

Guling pada variasi 9

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,00939526 m	0,02206272 m	0,02988742 m	0,03402483 m
Gaya geser dasar	2,3349.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,34832.10 ⁴ kg m			

5.13 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 2 (Variasi 10)



Gambar 5.12 Struktur Dengan Variasi 10

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 2 (variasi 10) seperti Gambar 5.12 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 90 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 90 = 6327,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 6327,63 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 110584,405 \text{ kg/cm} \approx 1,11 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matriks massa dan matriks kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 3,86 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 3,86 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 3,86-0,985\lambda & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 3,86-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

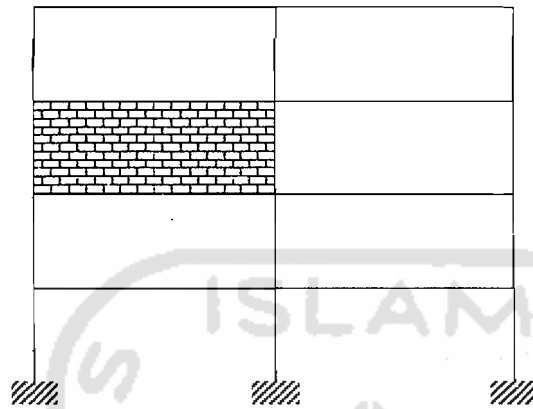
$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,45157 \\ 2,00076 \\ 2,18203 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,84593 \\ -0,51401 \\ -1,21678 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,37788 \\ -1,54928 \\ 2,68869 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,14435 \\ 0,55928 \\ -0,46292 \end{Bmatrix} \quad (5.55)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 10

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,01698022 m	0,02387314 m	0,032148 m	0,03585347 m
Gaya geser dasar	2,3349.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,34736.10 ⁴ kg m			

5.14 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 3 (Variasi 11)



Gambar 5.13 Struktur Dengan Variasi 11

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 3 (variasi 11) seperti Gambar 5.13 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 90 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 90 = 6327,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 6327,63 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 110584,405 \text{ kg/cm} \approx 1,11 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matriks massa dan matriks kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 3,86 & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 3,86 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 3,86-0,985\lambda & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 3,86-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,83324 \\ 2,12514 \\ 2,29828 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,39396 \\ -0,29149 \\ -1,06206 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,89399 \\ -0,51044 \\ 1,66018 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -3,16122 \\ 3,56414 \\ -2,67584 \end{Bmatrix} \quad (5.56)$$

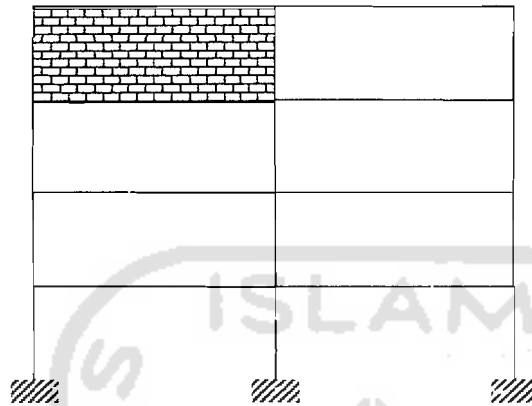
Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen

Guling pada variasi 11

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,01697957 m	0,02940103 m	0,03380893 m	0,03756509 m
Gaya geser dasar	2,3347.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,3464.10 ⁴ kg m			

5.15 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah pada Tingkat 4 (Variasi 12)



Gambar 5.14 Struktur Dengan Variasi 12

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 4 (variasi 12) seperti Gambar 5.14 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 90 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 90 = 6327,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 6327,63 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 110584,405 \text{ kg/cm} \approx 1,11 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matriks massa dan matriks kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 3,86 & -2,485 \\ 0 & 0 & -2,485 & 2,485 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 3,86-0,985\lambda & -2,485 \\ 0 & 0 & -2,485 & 2,485-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84292 \\ 2,39635 \\ 2,49429 \end{Bmatrix}, \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,67231 \\ -0,54798 \\ -0,82062 \end{Bmatrix}, \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,06614 \\ -0,13677 \\ 0,57050 \end{Bmatrix}, \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -4,25567 \\ 17,11124 \\ -30,2920 \end{Bmatrix} \quad (5.57)$$

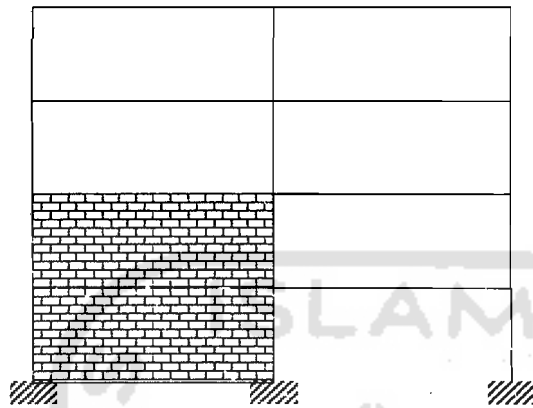
)2 horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen

Guling pada variasi 12

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,01698275 m	0,02953058 m	0,0376147 m	0,03965232 m
Gaya geser dasar	2,3348.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,34736.10 ⁴ kg m			

5.16 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah Tingkat 1 & 2 (Variasi 13)



Gambar 5.15 Struktur Dengan Variasi 13

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 1 dan 2 (variasi 13) seperti Gambar 5.15 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 90 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 90 = 6327,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (I^2 / (I^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 6327,63 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 110584,405 \text{ kg/cm} \approx 1,11 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matrik massa dan matrik kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 4,97 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 3,86 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4,97-0,985\lambda & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 3,86-0,985\lambda & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,86370 \\ 2,96556 \\ 3,33692 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,13753 \\ -0,38701 \\ -1,30829 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,00774 \\ -1,81345 \\ 2,89490 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,89363 \\ 0,35725 \\ -0,25966 \end{Bmatrix} \quad (5..58)$$

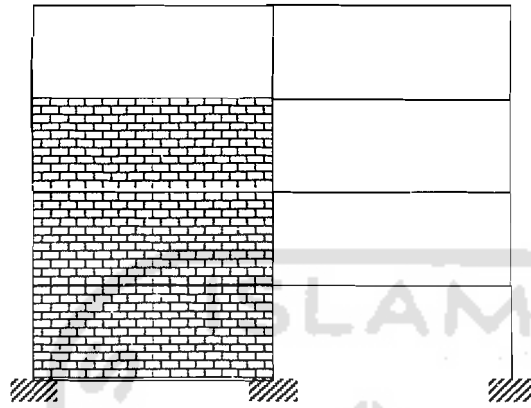
Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen

Guling pada variasi 13

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,00931966 m	0,01636635 m	0,02426101 m	0,02827538 m
Gaya geser dasar	2,3351.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,35024.10 ⁴ kg m			

5.17 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah Tingkat 1, 2, 3 (Variasi 14)



Gambar 5.16 Struktur Dengan Variasi 14

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 1, 2, dan 3 (variasi 14) seperti Gambar 5.16 akan dijejaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 90 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 90 = 6327,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot (L^2 / (L^2 + H^2)) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 6327,63 \cdot (1060^2 / (1060^2 + 480^2)) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 110584,405 \text{ kg/cm} \approx 1,11 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matriks massa dan matriks kekakuan :

Matriks massa $[M]$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 4,97 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 4,97 & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 3,86 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4,97-0,985\lambda & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 4,97-0,985\lambda & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 3,86-0,985\lambda & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84612 \\ 2,40816 \\ 2,75420 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,90258 \\ -0,18530 \\ -1,78388 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,14445 \\ -0,97899 \\ 1,30740 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,38480 \\ 0,90966 \\ -0,50639 \end{Bmatrix} \quad (5.59)$$

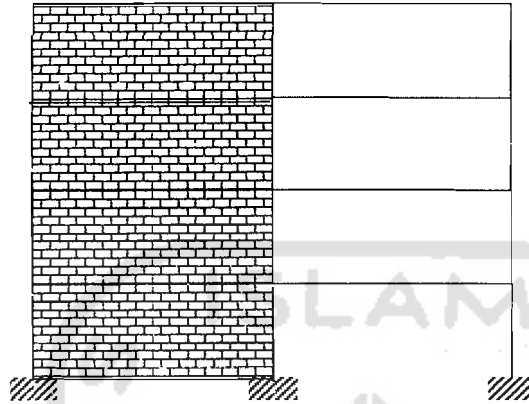
Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen

Guling pada variasi 14

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,00976516 m	0,01697891 m	0,02157566 m	0,02577201 m
Gaya geser dasar	2,3352.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,3512.10 ⁴ kg m			

5.18 Struktur Dengan Dinding Pengisi Bata Merah penuh (Variasi 15)



Gambar 5.16 Struktur Dengan Variasi 15

Perhitungan struktur dengan dinding pengisi bata merah pada tingkat 1,2,3, dan 4 (variasi 15) seperti Gambar 5.16 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Perhitungan kekakuan dinding bata merah mutu 90 kg/cm²:

$$E_{bata} = 70,307 \cdot 90 = 6327,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K_{bata} &= E_{bata} \cdot \left(\frac{L^2}{L^2 + I^2} \right) \cdot (w/d) \cdot 5 \cdot t \\ &= 6327,63 \cdot \left(\frac{1060^2}{1060^2 + 480^2} \right) \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 13 \\ &= 110584,405 \text{ kg/cm} \approx 1,11 \cdot 10^7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Penyusunan matriks massa dan matriks kekakuan :

Matriks massa $[M]$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan $[K]$

$$[K] = \begin{bmatrix} 4,97 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 4,97 & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 4,97 & -2,485 \\ 0 & 0 & -2,485 & 2,485 \end{bmatrix}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks di atas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4,97-0,985\lambda & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 4,97-0,985\lambda & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 4,97-0,985\lambda & -2,485 \\ 0 & 0 & -2,485 & 2,485-0,445\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Setelah melalui proses perhitungan diperoleh *mode shape* :

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84402 \\ 2,40041 \\ 2,59175 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,73493 \\ -0,45981 \\ -0,99704 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,83200 \\ -0,30756 \\ 1,25728 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,96150 \\ 2,84788 \\ -3,38818 \end{Bmatrix} \quad (5.60)$$

Perhitungan selanjutnya sama seperti perhitungan pada portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Sedangkan hasil perhitungan simpangan horisontal, gaya geser dasar dan momen guling dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Simpangan Horisontal, Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada variasi 15

	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Simpangan horisontal	0,00970386 m	0,0165957 m	0,02089515 m	0,02333968 m
Gaya geser dasar	2,3353.10 ⁴ kg			
Momen guling	25,35264.10 ⁴ kg m			

BAB VI

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan yang kami lakukan mengacu pada hasil hitungan pada BAB V. Pada penelitian ini kami mencoba untuk memvariasikan penambahan dinding pengisi bata merah dengan mutu bata merah 70 kg/cm^2 dan 90 kg/cm^2 . Variasi penambahan dinding pengisi bata merah tersebut selanjutnya akan dibandingkan dengan portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah. Analisis dan pembahasan yang kami amati meliputi perbandingan nilai simpangan relatif tiap lantai, gaya geser dasar dan momen guling. Dari nilai-nilai yang dihasilkan itu akan terlihat perbedaan antara portal dengan penambahan dinding pengisi dan portal tanpa penambahan dinding pengisi.

6.1. Analisis

Analisis dilakukan dengan cara membandingkan portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah terhadap portal dengan penambahan dinding pengisi bata merah. Variasi letak dinding pengisi pada merah dapat dilihat pada tabel 5.1. Analisis hasil hitungan simpangan relatif tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 6.1, analisis hasil hitungan gaya geser dasar dapat dilihat pada Tabel 6.2 dan analisis hasil hitungan momen guling dapat dilihat pada Tabel 6.3.

6.1.1. Simpangan Relatif tiap Lantai

Hasil analisis hitungan simpangan relatif tiap lantai secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 6.1. Grafik simpangan relatif tiap lantai dari berbagai variasi dapat dilihat pada Gambar 6.1 sampai dengan Gambar 6.8. Gambar grafik normalisasi didapat dari perbandingan antara variasi yang ditinjau terhadap variasi 1 yang dinyatakan dalam %.

Tabel 6.1 Tabel Simpangan relatif tiap lantai

	Simpangan relatif tiap lantai			
	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Variasi 1	0,00169788 m	0,00295434 m	0,0037584 m	0,00414262 m
Variasi 2	0,00104416 m	0,00231146 m	0,00309463 m	0,00353675 m
Variasi 3	0,0016981 m	0,0024656 m	0,0032923 m	0,0036647 m
Variasi 4	0,0015980 m	0,0029427 m	0,0034023 m	0,00381048 m
Variasi 5	0,0016979 m	0,0029531 m	0,00376415 m	0,00398715 m
Variasi 6	0,00104423 m	0,00181934 m	0,00262743 m	0,00303154 m
Variasi 7	0,0010441 m	0,0018399 m	0,0023047 m	0,00271389 m
Variasi 8	0,0010441 m	0,0018178 m	0,0023114 m	0,0025475 m
Variasi 9	0,00093953 m	0,00220627m	0,00298842 m	0,00340248 m
Variasi 10	0,00169802 m	0,00238731 m	0,00321480 m	0,00358347 m
Variasi 11	0,00169795 m	0,00294010 m	0,00321480 m	0,00375651 m

	Simpangan relatif tiap lantai			
	lantai 1	lantai 2	lantai 3	lantai 4
Variasi 12	0,00169828 m	0,00295306 m	0,00376715 m	0,00396513 m
Variasi 13	0,00093196 m	0,00163663 m	0,00242610 m	0,00282753 m
Variasi 14	0,00093986 m	0,00163022 m	0,00206929 m	0,00247626 m
Variasi 15	0,00094661 m	0,00160696 m	0,00200196m	0,00212506m

Secara umum penambahan dinding pengisi bata merah akan mengurangi nilai simpangan horisontal tiap tingkat. Besarnya nilai pengurangan simpangan tergantung dari letak dinding pengisi bata merah dan mutu bata merah yang digunakan.

6.1.2 Gaya Geser Dasar

Hasil hitungan analisis gaya geser dasar dan selisih antara variasi 1 dengan variasi-varisi lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.2. Gambar grafik gaya geser dasar dapat dilihat pada Gambar 6.9. Sedangkan Gambar 6.10 menunjukkan normalisasi dari gaya geser dasar. Pada Tabel 6.2 juga diberikan hasil selisih antara variasi 1 dengan variasi-varisi lainnya.

Secara umum pengaruh penambahan dinding pengisi bata merah tidak selalu menunjukkan hasil yang sama seperti pada teori yang menyatakan bahwa penambahan kekakuan akan menyebabkan bertambahnya kemampuan suatu struktur dalam menahan geser.

Tabel 6.2 Gaya Geser Dasar

	Gaya Geser Dasar (kg)	Selisih (kg)	Normalisasi (%)
Variasi 1	$2,3345 \cdot 10^4$	-	100
Variasi 2	$2,3348 \cdot 10^4$	$0,0003 \cdot 10^4$	100,013
Variasi 3	$2,3347 \cdot 10^4$	$0,0002 \cdot 10^4$	100,009
Variasi 4	$2,334610^4$	$0,0001 \cdot 10^4$	100,004
Variasi 5	$2,33470^4$	$0,0002 \cdot 10^4$	100,009
Variasi 6	$2,3349 \cdot 10^4$	$0,0004 \cdot 10^4$	100,017
Variasi 7	$2,3351 \cdot 10^4$	$0,0006 \cdot 10^4$	100,026
Variasi 8	$2,3352 \cdot 10^4$	$0,0007 \cdot 10^4$	100,030
Variasi 9	$2,3349 \cdot 10^4$	$0,0004 \cdot 10^4$	100,017
Variasi 10	$2,3348 \cdot 10^4$	$0,0003 \cdot 10^4$	100,013
Variasi 11	$2,3347 \cdot 10^4$	$0,0002 \cdot 10^4$	100,008
Variasi 12	$2,3348 \cdot 10^4$	$0,0003 \cdot 10^4$	100,013
Variasi 13	$2,3351 \cdot 10^4$	$0,0006 \cdot 10^4$	100,026
Variasi 14	$2,3352 \cdot 10^4$	$0,0007 \cdot 10^4$	100,030
Variasi 15	$2,3353 \cdot 10^4$	$0,0008 \cdot 10^4$	100,034

Dari Tabel 6.2 tampak bahwa variasi 4, variasi 5, variasi 11 dan variasi 12 menghasilkan nilai gaya geser dasar yang lebih kecil dibanding portal tanpa penambahan dinding pengisi bata merah.

6.1.3 Momen Guling

Hasil analisis momen guling dapat dilihat pada Tabel 6.3. Pada Tabel 6.3 juga diberikan hasil selisih antara variasi 1 dengan variasi-varisi lainnya. Grafik momen guling dan grafik normalisasinya dapat dilihat pada Gambar 6.11 dan Gambar 6.12.

Tabel 6.3 Analisis Momen Guling

	Momen Guling (kg m)	Selisih (kg m)	Normalisasi (%)
Variasi 1	$25,34352 \cdot 10^4$	-	100
Variasi 2	$25,34736 \cdot 10^4$	$0,00384 \cdot 10^4$	100,015
Variasi 3	$25,3464 \cdot 10^4$	$0,00288 \cdot 10^4$	100,011
Variasi 4	$25,34592 \cdot 10^4$	$0,0024 \cdot 10^4$	100,009
Variasi 5	$25,34688 \cdot 10^4$	$0,00336 \cdot 10^4$	100,013
Variasi 6	$25,3488 \cdot 10^4$	$0,00528 \cdot 10^4$	100,020
Variasi 7	$25,34928 \cdot 10^4$	$0,00576 \cdot 10^4$	100,022
Variasi 8	$25,34976 \cdot 10^4$	$0,00624 \cdot 10^4$	100,024
Variasi 9	$25,34832 \cdot 10^4$	$0,00470 \cdot 10^4$	100,019
Variasi 10	$25,34784 \cdot 10^4$	$0,00432 \cdot 10^4$	100,017
Variasi 11	$25,3464 \cdot 10^4$	$0,00288 \cdot 10^4$	100,011

	Momen Guling (kg m)	Selisih (kg m)	Normalisasi (%)
Variasi 12	$25,34736 \cdot 10^4$	$0,00384 \cdot 10^4$	100,015
Variasi 13	$25,35024 \cdot 10^4$	$0,00672 \cdot 10^4$	100,027
Variasi 14	$25,3512 \cdot 10^4$	$0,00768 \cdot 10^4$	100,030
Variasi 15	$25,35264 \cdot 10^4$	$0,00912 \cdot 10^4$	100,036

Hasil yang ditunjukkan oleh grafik analisis momen guling pada dasarnya serupa dengan grafik gaya geser dasar karena momen guling merupakan hasil kali antara gaya geser tingkat dengan elevasi tinggi dari muka tanah.

6.2. Pembahasan

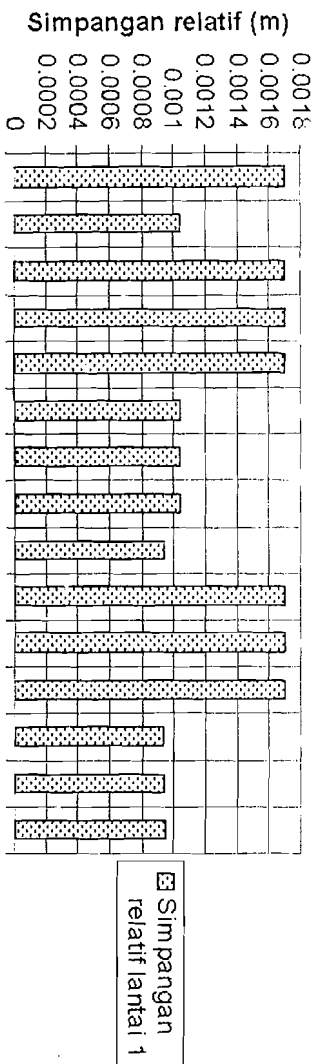
Pembahasan yang kami lakukan mengacu pada hasil analisis di atas. Beberapa hasil yang dapat kami kemukakan adalah sebagai berikut ini.

1. Dari hasil penelitian yang kami lakukan ternyata penambahan dinding pengisi bata merah akan menyebabkan bertambahnya gaya geser dasar dibandingkan dengan struktur tanpa penambahan dinding pengisi. Dari Gambar 6.9 tampak bahwa variasi 3 dan variasi 4 mengalami penurunan dibandingkan variasi 2, walaupun hasil dari variasi 3 dan variasi 4 tersebut lebih tinggi dari variasi 1. Penurunan ini terjadi karena penempatan dinding pengisi yang tidak menerus, dinding pengisi hanya ditempatkan pada tingkat 3 dan tingkat 4 saja. Pola penurunan yang sama juga terjadi pada variasi 10 dan variasi 11. Hasil gaya

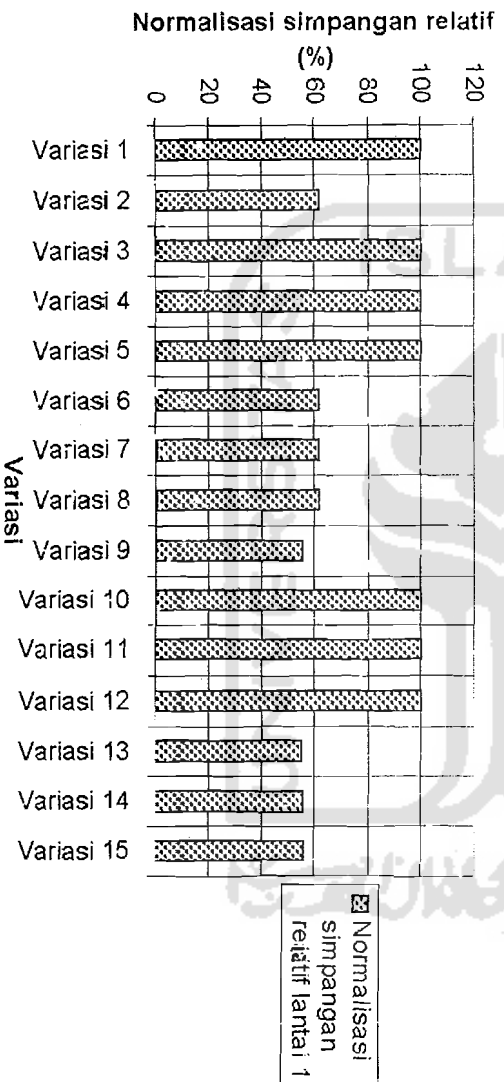
geser dasar yang didapat dari variasi 10 dan variasi 11 lebih tinggi dari hasil variasi 3 dan variasi 4. Penambahan hasil ini disebabkan oleh perbedaan mutu bata merah yang dipakai. Variasi 3 dan variasi 4 menggunakan mutu bata merah 70 kg/cm^2 , sedangkan variasi 10 dan variasi 11 menggunakan mutu bata merah 90 kg/cm^2 . Perbedaan hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan teori bahwa penambahan kekakuan menyebabkan bertambahnya gaya geser dasar. Kesesuaian hasil dengan teori ini juga ditunjukkan oleh perbedaan antara variasi 6, variasi 7, variasi 8 dengan variasi 13, variasi 14 dan variasi 15.

2. Hasil gaya geser dasar pada variasi 6, variasi 7 dan variasi 8 menunjukkan grafik yang meningkat (lihat Gambar 6.9 dan Gambar 6.10). Pada variasi-variasi ini, dinding pengisi ditempatkan secara menerus (lihat Gambar 5.8, Gambar 5.9 dan Gambar 5.10). Pola yang sama juga ditunjukkan oleh hasil variasi 13, variasi 14 dan variasi 15. Gaya geser dasar terbesar dihasilkan oleh variasi 8 untuk mutu bata merah 70 kg/cm^2 dan variasi 15 untuk mutu bata merah 90 kg/cm^2 .
3. Hasil pembahasan mengenai momen guling menunjukkan kesamaan dengan gaya geser dasar. Hal ini dimungkinkan karena grafik momen guling pada dasarnya serupa dengan grafik gaya geser dasar karena momen guling merupakan hasil kali antara gaya geser tingkat dengan elevasi tinggi dari muka tanah. Pengamatan mengenai momen guling dapat dilihat pada Gambar 6.11 dan Gambar 6.12.

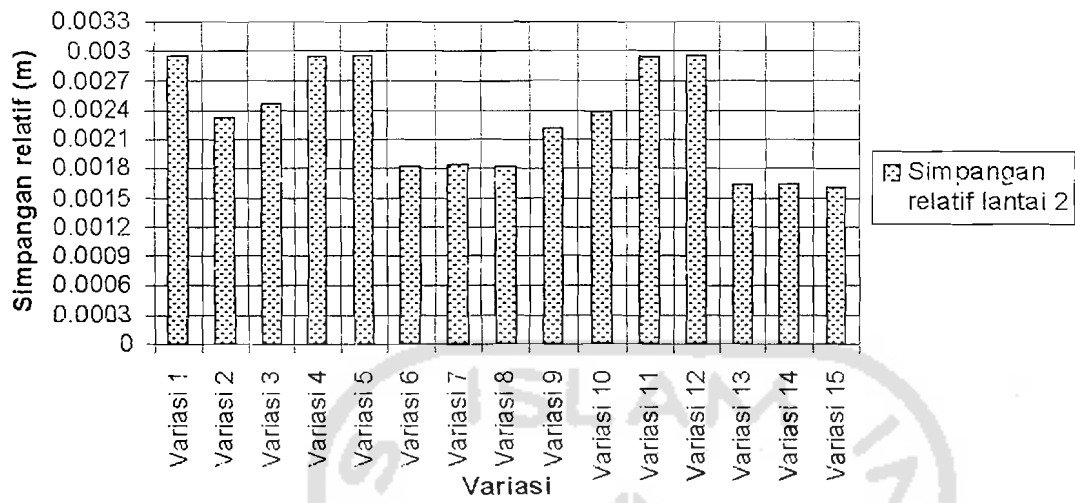
4. Selain berpengaruh terhadap gaya geser dasar dan momen guling, penambahan kekakuan juga berpengaruh pada simpangan relatif tiap lantai. Dalam penelitian ini kami menggunakan metode *upperbound/absolute response*. Simpangan relatif menurut konsep *upperbound/absolute response* didapat dengan cara menjumlahkan nilai absolute simpangan horisontal kontribusi tiap mode, dimana simpangan horisontal dapat bernilai positif atau negatif. Pada Gambar 6.1 sampai dengan Gambar 6.8 menyatakan hubungan variasi 1 dengan variasi-variasi lainnya. Gambar tersebut merupakan manifestasi dari Tabel 6.1 yang menunjukkan bahwa penambahan dinding pengisi bata merah akan menyebabkan penurunan simpangan horisontal. Perilaku ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa kekakuan berbanding terbalik dengan simpangan.
5. Dengan bertambahnya nilai kekakuan tingkat maka nilai frekuensi sudut/*angular frequency* (ω) akan bertambah atau periode getar (T) akan berkurang. Pola penurunan ini tidak berlaku sepenuhnya ketika kita menentukan nilai koefisien gempa dasar (C) karena nilai C yang diperoleh diambil dari grafik desain spektrum yang memiliki grafik tidak linier sepenuhnya seperti ditunjukkan pada Lampiran 15.



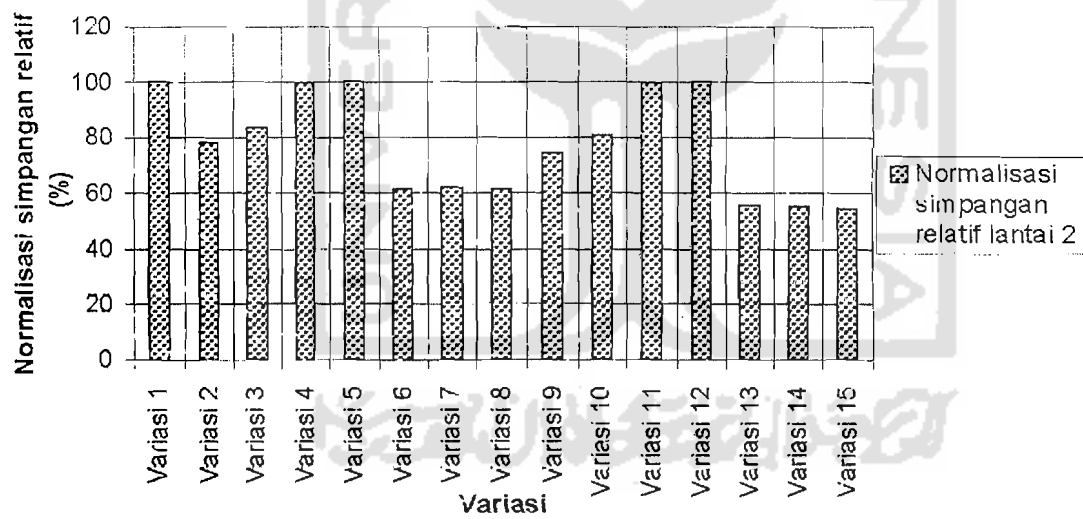
Gambar 6.1 Hasil analisis simpangan relatif lantai 1



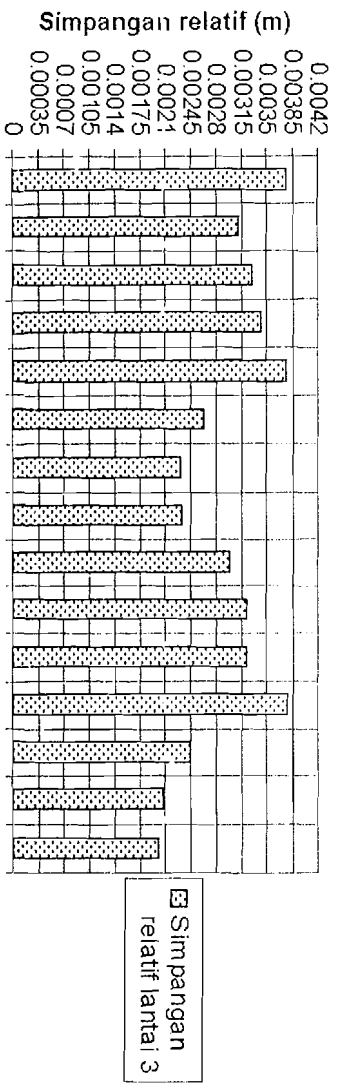
Gambar 6.2 Normalisasi simpangan relatif lantai 1



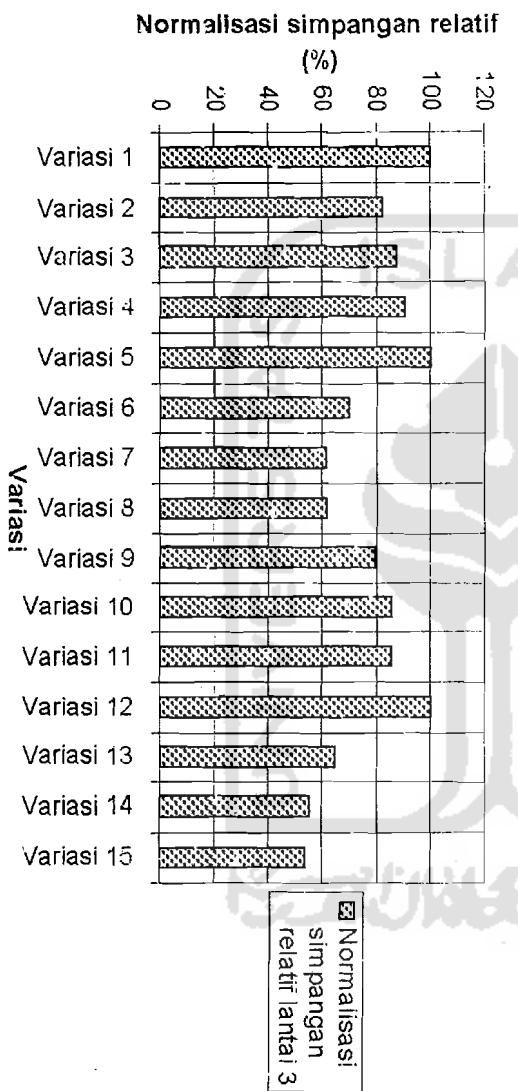
Gambar 6.3 Hasil analisis simpangan relatif lantai 2



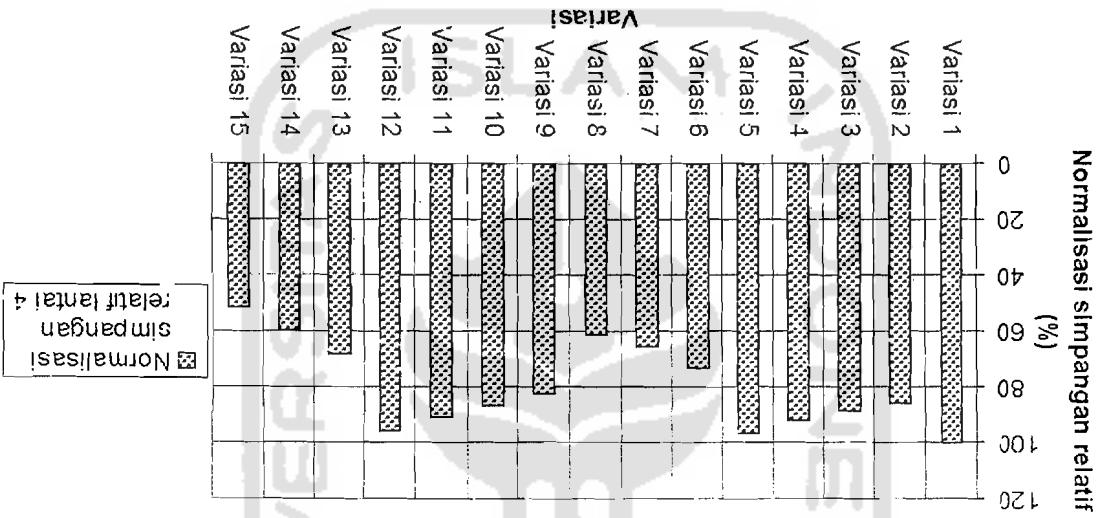
Gambar 6.4 Normalisasi simpangan relatif lantai 2



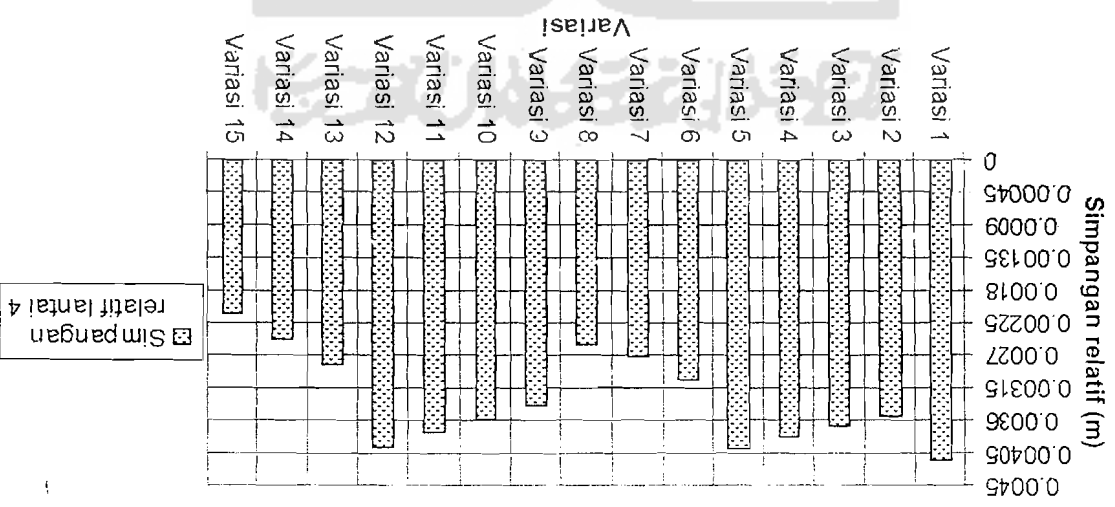
Gambar 6.5 Hasil analisis simpangan relatif lantai 3



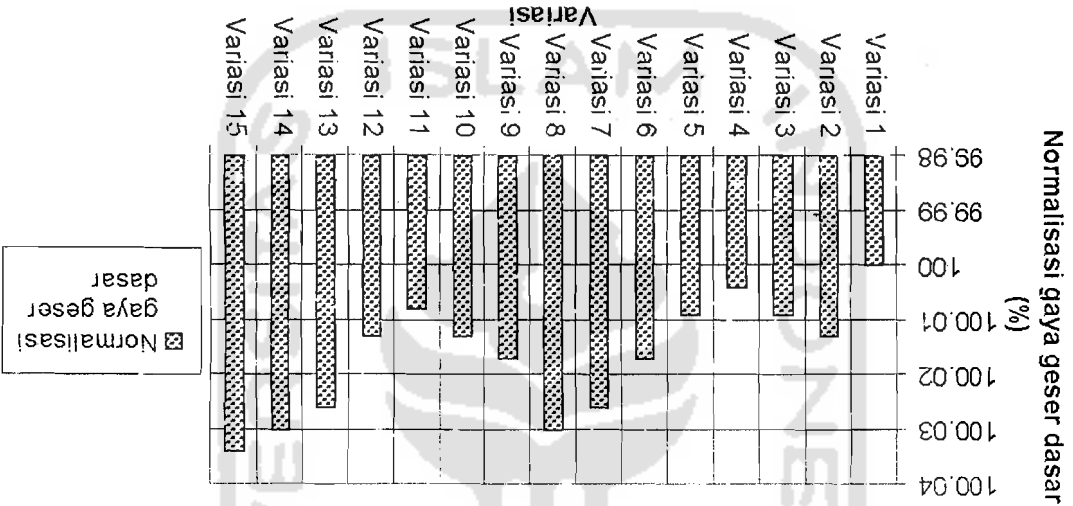
Gambar 6.6 Normalisasi simpangan relatif lantai 3



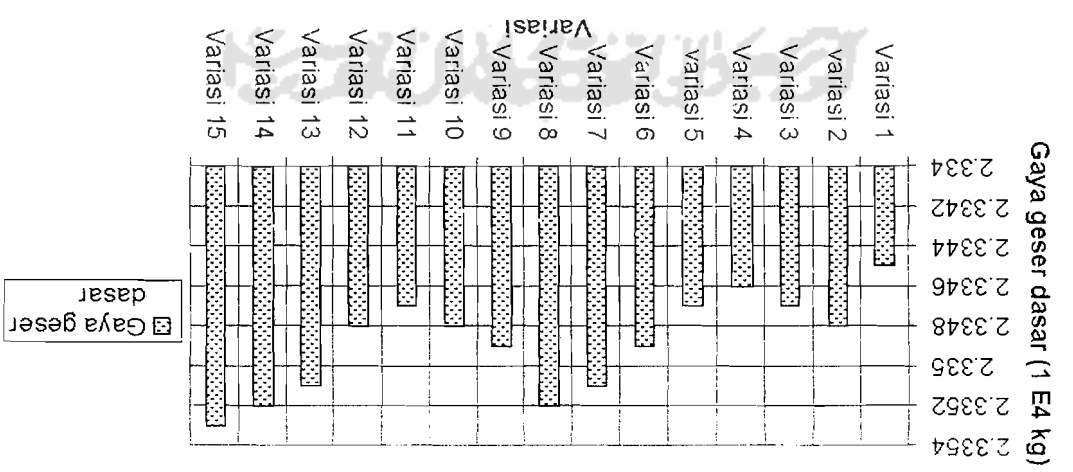
Gambar 6.8 Normalisasi simpangan relatif lantai 4



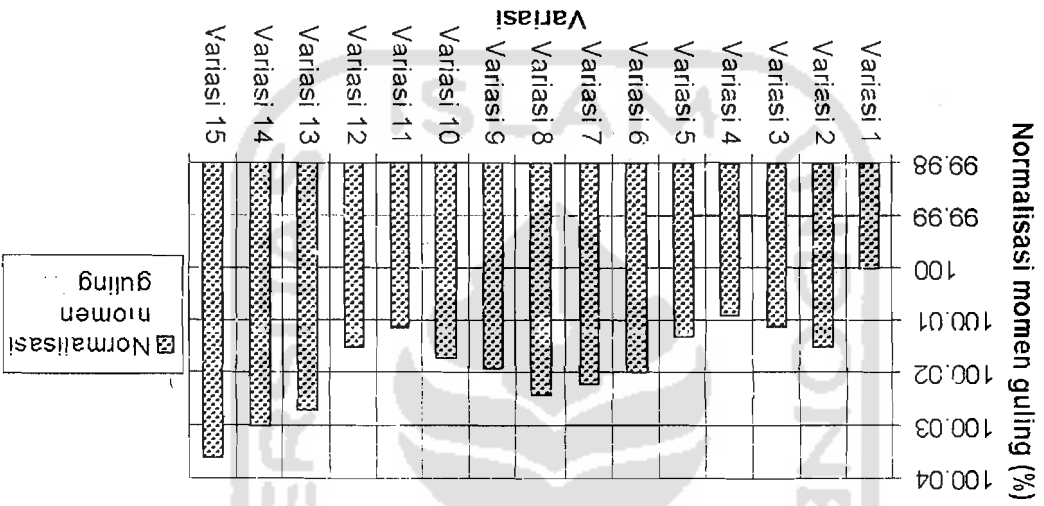
Gambar 6.7 Hasil analisis simpangan relatif lantai 4



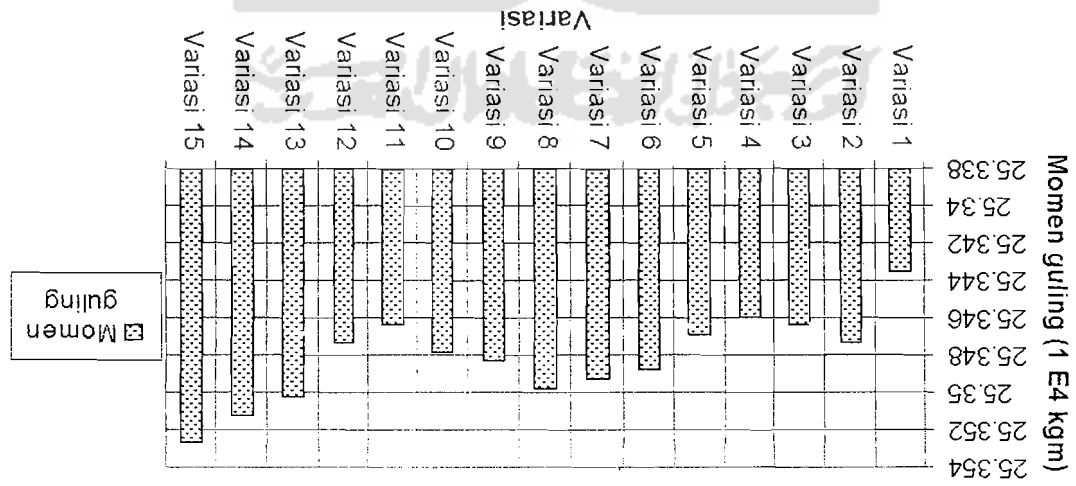
Gambar 6.10 Normalisasi gaya geser dasar



Gambar 6.9 Hasil analisis gaya geser dasar



Gambar 6.12 Normalisasi momen guling



Gambar 6.11 Hasil analisis momen guling

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil, analisis dan pembahasan penelitian yang kami lakukan pada bab sebelumnya, kami mengambil beberapa kesimpulan dan saran yang dijabarkan pada sub bab berikut ini.

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat kami tarik dari hasil analisis dan pembahasan pada bab VI adalah sebagai berikut ini.

1. Adanya penambahan dinding pengisi akan mempengaruhi struktur dalam menahan beban gempa.
2. Penambahan dinding pengisi bata merah yang berarti penambahan nilai kekakuan menyebabkan gaya geser suatu struktur bertambah hal ini sama dengan teori yang menyatakan bahwa penambahan nilai kekakuan akan meningkatkan hasil gaya geser suatu struktur.
3. Dalam analisis beban statik simpangan relatif tiap lantai akan menurun sesuai dengan peningkatan kekakuan struktur. Hal ini sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa kekakuan berbanding terbalik dengan simpangan. Bila analisis menggunakan beban gempa yang sebenarnya ada kemungkinan bahwa teori yang

menyatakan kekakuan berbanding terbalik dengan simpangan tidak sepenuhnya benar, karena adanya efek resonansi.

4. Hasil pembahasan mengenai momen guling menunjukkan pola yang sama dengan pembahasan mengenai gaya geser dasar.
5. Penempatan dinding pengisi pada tiap tingkat memberikan kontribusi yang baik pada struktur. Hal ini sejalan dengan anggapan bahwa sebaiknya dinding pengisi ditempatkan secara menerus pada setiap tingkat dari suatu struktur.

7.2 Saran

Saran yang kami ajukan atas penelitian yang telah kami lakukan agar dapat dijadikan bahan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut ini.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut bila strukturnya berada pada kondisi in-elastis sehingga *strength yield* diperhitungkan.
2. Perlu dilakukan penelitian bila lendutan balok akibat adanya tambahan dinding pengisi bata merah ikut diperhitungkan, karena pada kenyataannya adanya penambahan dinding pengisi akan mempengaruhi lendutan balok di atasnya.
3. Pemakaian beban gempa berupa spektrum respons hanyalah suatu metode pendekatan saja, sehingga pemakaian beban gempa yang sebenarnya layak dipertimbangkan.
4. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan pada struktur 3 dimensi sehingga torsi diperhitungkan

5. Penelitian selanjutnya sebaiknya mempertimbangkan berat tembok dan dinding pengisi dengan lobang sehingga akan mendekati kenyataan yang sebenarnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, 1983, **BATA MERAH SEBAGAI BAHAN BANGUNAN NI-10**, Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, DPU, 1983
- Departemen Pekerjaan Umum, 1981, **PERATURAN PERENCANAAN TAHAN GEMPA INDONESIA UNTUK GEDUNG**, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, DPU, 1981
- Hanselman, D. and B. Littlefield, 1997, **THE STUDENT EDITION OF MATLAB** : Version 5, User's Guide / The Math works, Inc.
- Famularsih, E dan H. S. Wirogo, 1999, **PENGARUH PERUBAHAN KEKAKUAN TERHADAP BESARNYA GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING PADA GEDUNG BERTINGKAT BANYAK**. *Tugas akhir S-1*, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, UII, Yogyakarta
- Kusuma, G., 1983, **PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA JENIS A, B₂, D**, Universitas Petra, Surabaya
- Meyndrasta dan Y. Asror, 1996, **STUDI "SOFT STOREY EFFECT" PADA GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT BEBAN GEMPA**. *Tugas akhir S-1*, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, UII, Yogyakarta
- Merzahl dan W. Priyanto, 1999, **ANALISIS PENGGUNAAN TUNED MASS DAMPER (TMD) UNTUK MENGURANGI SIMPANGAN AKIBAT**

BEBAN DINAMIS PADA BALOK KANTILEVER. *Tugas akhir S-1,*

Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, UII, Yogyakarta

Paz, M., 1987, **DINAMIKA STRUKTUR TEORI DAN PERHITUNGAN,**

(Terjemahan), Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

Scarlat,A., 1996, **APPROXIMATE METHODS IN STRUCTURAL SEISMIC**

DESIGN, E&FN Spon, Landon.

Schodek, D., 1999, **STRUKTUR,** Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

Theodosius, G., 1999, **PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA,**

Delta Teknik Group Jakarta

Tjokrodimuljo, K., 1990, **TEKNIK GEMPA,** Jurusan Teknik Sipil, Universitas

Gadjah Mada, Yogyakarta

Widodo, 1996, **METODE NUMERIK,** *Diktat kuliah,* Jurusan Teknik Sipil,

Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Widodo, 1997, **PENGANTAR TEKNIK GEMPA,** *Diktat kuliah,* Jurusan

Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

LAMPIRAN





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

TA 3 MK

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1	NURSATYO HERIBOWO	94 310 106		TSS
2	RIDWAN TRIBOWO	94 310 126		TSS

JUDUL TUGAS AKHIR :**PENGARUH PENAMBAHAN KEKAKUAN**.....
.....**TERHADAP MOMEN GULING SIMPANGAN GAYA GESER**.....

Dosen Pembimbing I : **IR. H.SARWIDI, MSc, Ph.D**
Dosen Pembimbing II : **IR. HELMI AKBAR BALE, MT**

1



2



Yogyakarta, 01 Feb. 2000
An Dekan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil,


IR. H.T. ADJUDDIN BM ARIS, MS

Hitungan Variasi 2

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 3,611 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 3,611-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 & 0 \\ -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2,62618 - 0,71636\lambda$$

$$\phi_3 = 4,25236 - 3,31403\lambda + 0,51318\lambda^2$$

$$\phi_4 = 5,87855 - 8,95793\lambda + 3,4004\lambda^2 - 0,36762\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,16359\lambda^4 - 2,01866\lambda^3 + 7,95622\lambda^2 - 10,37632\lambda + 2,236 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,266255 ; \lambda_2 = 2,091920 ; \lambda_3 = 4,384046 ; \lambda_4 = 5,597530$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 16,31732 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,38506 \text{ dt} ; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 45,73751 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,13737 \text{ dt} ; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 66,21213 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,09489 \text{ dt} ; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 74,81664 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,08398 \text{ dt} ; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 2,43545 \\ 3,40636 \\ 3,72758 \end{Bmatrix} ; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,12761 \\ -0,43458 \\ -1,34552 \end{Bmatrix} ; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,51438 \\ -0,41325 \\ 0,98585 \end{Bmatrix} ; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,38367 \\ 1,78111 \\ -2,19500 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_1^* = |\phi_1^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_1^* = |\phi_1^T [M] \{\phi\}_1| \quad ; \quad \Gamma_1 = \frac{P_1^*}{M_1^*}$$

$$P_1^* = 8,39795 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 24,43989 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,34362$$

$$P_2^* = 1,06888 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 3,22910 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,33101$$

$$P_3^* = 0,50990 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 1,84632 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,27617$$

$$P_4^* = 0,39970 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 8,13960 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,04911$$

$$\{y\}_i = \{\phi\}_i \frac{\Gamma_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 8,8622 \\ 21,5835 \\ 30,1880 \\ 33,3468 \end{Bmatrix} 10^{-4} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 10,866 \\ 12,2526 \\ -4,7222 \\ -14,6204 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 4,3258 \\ -2,2251 \\ -1,7877 \\ 4,2646 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} \quad ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 6,024 \\ -8,336 \\ 10,730 \\ -13,223 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,2324 \\ 0,5661 \\ 0,7917 \\ 0,3914 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2239 \\ 0,2525 \\ -0,0973 \\ -0,1362 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,1868 \\ -0,0961 \\ -0,0772 \\ 0,0832 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0331 \\ -0,0459 \\ 0,0592 \\ -0,0329 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,044162 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 2,31146 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 3,09462 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 3,53675 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6762 \\ 0,6766 \\ 0,6764 \\ 0,3055 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3345 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,34736 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 3

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{aligned} \text{Matriks massa } [M] &= \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} & \text{Matriks kekakuan } [K] &= \begin{bmatrix} 3,611 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 3,611 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 3,611-0,985\omega^2m & -2,236k & 0 & 0 \\ -2,236k & 3,86-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 1,61494 - 0,44052\lambda$$

$$\phi_3 = 2,61494 - 2,31375\lambda + 0,31557\lambda^2$$

$$\phi_4 = 3,61494 - 6,06026\lambda + 2,28864\lambda^2 - 0,22606\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,1006\lambda^4 - 1,32926\lambda^3 + 5,40978\lambda^2 - 6,76007\lambda + 1,375 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,250632 ; \lambda_2 = 1,782104 ; \lambda_3 = 4,783199 ; \lambda_4 = 6,397584$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 15,83136 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,39688 \text{ dt} ; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 42,21497 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,14884 \text{ dt} ; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 69,16068 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,09085 \text{ dt} ; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 79,9849 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,07855 \text{ dt} ; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,50453 \\ 2,05486 \\ 2,23625 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,82989 \\ -0,50619 \\ -1,19604 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,49216 \\ -1,23226 \\ 2,25146 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,20332 \\ 0,72852 \\ -0,67734 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = |\phi_i^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \{\phi\}_i| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 5,48614 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 9,59915 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,57152$$

$$P_2^* = 0,77161 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 2,55235 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,30231$$

$$P_3^* = 0,2879 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 4,97302 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,05789$$

$$P_4^* = 0,2159 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 3,13821 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,0688$$

$$\{v\}_i = \{\phi\}_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{v_1\} = \begin{Bmatrix} 1,5659 \\ 2,3559 \\ 3,2177 \\ 3,5017 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad \{v_2\} = \begin{Bmatrix} 11,6491 \\ 9,6674 \\ -5,8966 \\ -13,9328 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{v_3\} = \begin{Bmatrix} 8,311 \\ -4,090 \\ -10,242 \\ 18,704 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} \quad ; \quad \{v_4\} = \begin{Bmatrix} 7,385 \\ -8,886 \\ 5,380 \\ -5,002 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3866 \\ 0,5816 \\ 0,7944 \\ 0,3906 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2043 \\ 0,1698 \\ -0,1095 \\ -0,1104 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0391 \\ -0,0191 \\ -0,0483 \\ 0,0398 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0464 \\ -0,0560 \\ 0,0339 \\ -0,0141 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horisontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,6981 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad y_2 = 2,4656 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad y_3 = 3,2923 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad y_4 = 3,6647 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6764 \\ 0,6763 \\ 0,6765 \\ 0,3055 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3347 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,3464 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 4

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 3,611 & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 3,611 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 & 0 \\ -1,375k & 3,611-0,985\omega^2m & -2,236k & 0 \\ 0 & -2,236k & 3,611-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,71636\lambda$$

$$\phi_3 = 2,61494 - 2,03792\lambda + 0,31557\lambda^2$$

$$\phi_4 = 3,61494 - 6,06026\lambda + 2,28864\lambda^2 - 0,22606\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,1006\lambda^4 - 1,32928\lambda^3 + 5,40978\lambda^2 - 7,13936\lambda + 1,375 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,230666 ; \lambda_2 = 2,167382 ; \lambda_3 = 4,02773 ; \lambda_4 = 6,787741$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 15,18769 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,4137 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 46,55515 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,13496 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 63,4644 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,099 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 82,3877 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,07626 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubtitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,83476 \\ 2,16165 \\ 2,33604 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,44737 \\ -0,31961 \\ -1,07057 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,88531 \\ -0,47388 \\ 1,56274 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -2,86247 \\ 3,32146 \\ -2,77181 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = |\phi_i^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \{\phi\}_i| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 5,961 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 11,3319 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,52604$$

$$P_2^* = 0,63445 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 1,79278 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,35389$$

$$P_3^* = 0,3416 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 3,06496 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,111459$$

$$P_4^* = 0,20365 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 23,3413 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,00872$$

$$\{y\}_i = \{\phi\}_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 1,566 \\ 2,8732 \\ 3,3852 \\ 3,6583 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 11,2125 \\ 5,0162 \\ -3,5836 \\ -12,0038 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 19,003 \\ -16,823 \\ -9,005 \\ 29,697 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 8,83 \\ -25,27 \\ 29,32 \\ -24,47 \end{Bmatrix} 10^{-7} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3558 \\ 0,6528 \\ 0,7691 \\ 0,3755 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2393 \\ 0,1071 \\ -0,0765 \\ -0,1158 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0753 \\ -0,0667 \\ -0,0357 \\ 0,0532 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0059 \\ -0,0169 \\ 0,0196 \\ -0,0074 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,698 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 2,9427 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 3,423 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 3,81048 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6763 \\ 0,6763 \\ 0,6765 \\ 0,3055 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3346 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,34592 \cdot 10^5 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 5

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l} \text{Matriks massa } [M] \\ [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Matriks kekakuan } [K] \\ [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 3,611 & -2,236 \\ 0 & 0 & -2,236 & 2,236 \end{bmatrix} \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 & 0 \\ -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 3,611-0,985\omega^2m & -2,236k \\ 0 & 0 & -2,236k & 2,236-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,71636\lambda$$

$$\phi_3 = 3 - 2,86545\lambda + 0,51318\lambda^2$$

$$\phi_4 = 3,61494 - 5,50857\lambda + 2,09104\lambda^2 - 0,22606\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,1006\lambda^4 - 1,43599\lambda^3 + 5,979\lambda^2 - 7,51865\lambda + 1,375 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,219067 ; \lambda_2 = 1,843264 ; \lambda_3 = 4,252796 ; \lambda_4 = 7,959127$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 14,80091 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,42451 \text{ dt} ; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 42,93325 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,14635 \text{ dt} ; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 65,21346 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,09635 \text{ dt} ; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 88,65172 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,07087 \text{ dt} ; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84307 \\ 2,3969 \\ 2,50617 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,67956 \\ -0,53819 \\ -0,84999 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,04653 \\ 0,09534 \\ 0,61933 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -3,7016 \\ 12,70229 \\ -21,74362 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = |\phi_i^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \{\phi_i\}| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$\begin{aligned} P_1^* &= 6,27602 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_1^* &= 12,7849 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_1 &= 0,4909 \\ P_2^* &= 0,746 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_2^* &= 2,04668 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_2 &= 0,36499 \\ P_3^* &= 0,32368 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_3^* &= 2,24344 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_3 &= 0,14428 \\ P_4^* &= 0,17477 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_4^* &= 383,79877 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_4 &= 0,00046 \end{aligned}$$

$$\{y\}_i = \{\phi_i\} \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 1,5389 \\ 2,8364 \\ 3,6887 \\ 3,8568 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 13,579 \\ 9,2277 \\ -7,3081 \\ -11,5421 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 23,297 \\ -24,381 \\ 2,221 \\ 14,428 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 3,9 \\ -14,5 \\ 49,9 \\ -85,4 \end{Bmatrix} 10^{-8} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi_i\} \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3321 \\ 0,6120 \\ 0,7960 \\ 0,3760 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2464 \\ -0,1675 \\ -0,1326 \\ -0,0947 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0975 \\ -0,1021 \\ 0,0093 \\ 0,0273 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,00031 \\ -0,00114 \\ 0,00391 \\ -0,00301 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,6979 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 2,9531 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 3,7645 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 3,9875 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6765 \\ 0,6764 \\ 0,6764 \\ 0,3056 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3347 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,34688 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 6

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 4,472 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 3,611 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 4,472-0,985\omega^2/m & -2,236k & 0 & 0 \\ -2,236k & 3,611-0,985\omega^2/m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2/m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2/m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,44052\lambda$$

$$\phi_3 = 3,62618 - 2,58961\lambda + 0,31557\lambda^2$$

$$\phi_4 = 5,25236 - 7,33637\lambda + 2,48625\lambda^2 - 0,22606\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,1006\lambda^4 - 1,41722\lambda^3 + 6,24936\lambda^2 - 8,86409\lambda + 2,236 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,318874 ; \lambda_2 = 2,2094622 ; \lambda_3 = 4,945891 ; \lambda_4 = 6,728288$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 17,85704 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,35186 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 45,76704 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,13729 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 70,32703 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,08934 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 82,02614 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,0766 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,85953 \\ 2,83251 \\ 3,15846 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,07728 \\ -0,41353 \\ -1,28378 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,17876 \\ -1,46233 \\ 2,43572 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,96395 \\ 0,48835 \\ -0,41197 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = |\phi_i^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \{\phi_i\}| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$\begin{aligned} P_1^* &= 7,01217 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_1^* &= 16,73299 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_1 &= 0,41906 \\ P_2^* &= 1,06751 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_2^* &= 3,02996 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_2 &= 0,35232 \\ P_3^* &= 0,45242 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_3^* &= 5,76286 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_3 &= 0,07851 \\ P_4^* &= 0,33321 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_4^* &= 2,21068 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_4 &= 0,15073 \end{aligned}$$

$$\{y\}_i = \{\phi\}_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 9,0245 \\ 16,7815 \\ 25,5622 \\ 28,5037 \end{Bmatrix} 10^{-4} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 11,5504 \\ 12,443 \\ -4,7764 \\ -14,8282 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 10,9 \\ -1,949 \\ -15,939 \\ 26,549 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 15,383 \\ -14,829 \\ 7,512 \\ -6,338 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,2835 \\ 0,5271 \\ 0,8029 \\ 0,4045 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2382 \\ 0,2567 \\ -0,0985 \\ -0,1382 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0530 \\ -0,0095 \\ -0,0777 \\ 0,0584 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,102 \\ -0,0983 \\ 0,0498 \\ -0,0188 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,04423 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 1,81934 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 2,62743 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 3,031539 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$H = \begin{Bmatrix} 0,6767 \\ 0,6760 \\ 0,6765 \\ 0,3057 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3349 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,3488 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 7

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 4,472 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 4,472 & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 3,611 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 4,472-0,985\omega^2m & -2,236k & 0 & 0 \\ -2,236k & 4,472-0,985\omega^2m & -2,236k & 0 \\ 0 & -2,236k & 3,611-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $\{\phi_i\}$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,44052\lambda$$

$$\phi_3 = 3 - 1,76208\lambda + 0,19406\lambda^2$$

$$\phi_4 = 4,62618 - 6,06026\lambda + 1,77191\lambda^2 - 0,13902\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,06186\lambda^4 - 0,97965\lambda^3 + 4,86637\lambda^2 - 7,96864\lambda + 2,236 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,350414 ; \lambda_2 = 2,587525 ; \lambda_3 = 5,134681 ; \lambda_4 = 7,763946$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 18,71935 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,33565 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 50,86772 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,12352 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 71,65569 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,0876 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 88,11326 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,07131 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84564 \\ 2,40637 \\ 2,71417 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,86014 \\ -0,26014 \\ -1,59986 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,26193 \\ -0,93134 \\ 1,40508 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,42017 \\ 1,01702 \\ -0,67825 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = |\phi_i^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \{\phi\}_i| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 6,38103 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 13,32223 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,47898$$

$$P_2^* = 0,86406 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 2,91941 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,29597$$

$$P_3^* = 0,43489 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 2,7855 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,15613$$

$$P_4^* = 0,28607 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 4,19516 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,06819$$

$$\{y\}_i = \{\phi\}_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 0,9386 \\ 1,7324 \\ 2,2587 \\ 2,5548 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 7,8547 \\ 6,7662 \\ -2,0433 \\ -12,5665 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 20,88 \\ -5,469 \\ -19,447 \\ 29,339 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 6,031 \\ -8,565 \\ 6,134 \\ -4,091 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3240 \\ 0,5980 \\ 0,7797 \\ 0,3973 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2002 \\ 0,1722 \\ -0,0521 \\ -0,1447 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,1058 \\ -0,0276 \\ -0,0984 \\ 0,067 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0463 \\ -0,0655 \\ 0,0469 \\ -0,0141 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,0441 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 1,81399 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 2,3047 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 2,71389 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$H = \begin{Bmatrix} 0,6763 \\ 0,6771 \\ 0,6762 \\ 0,3055 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3351 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,34928 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 8

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 4,472 & -2,236 & 0 & 0 \\ -2,236 & 4,472 & -2,236 & 0 \\ 0 & -2,236 & 4,472 & -2,236 \\ 0 & 0 & -2,236 & 2,236 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 4,472-0,985\omega^2 m & -2,236k & 0 & 0 \\ -2,236k & 4,472-0,985\omega^2 m & -2,236k & 0 \\ 0 & -2,236k & 4,472-0,985\omega^2 m & -2,236k \\ 0 & 0 & -2,236k & 2,236-0,445\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,44052\lambda$$

$$\phi_3 = 3 - 1,76208\lambda + 0,19406\lambda^2$$

$$\phi_4 = 4 - 4,40519\lambda + 1,16434\lambda^2 - 0,08549\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,03804\lambda^4 - 0,70928\lambda^3 + 4,12986\lambda^2 - 7,69\lambda + 2,236 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,354082 ; \lambda_2 = 2,871671 ; \lambda_3 = 6,431469 ; \lambda_4 = 8,988414$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 18,81707 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,33391 \text{ dt} ; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 53,58797 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,11725 \text{ dt} ; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 80,19644 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,07835 \text{ dt} ; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 94,80725 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,06627 \text{ dt} ; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84402 \\ 2,40041 \\ 2,58238 \end{Bmatrix} ; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,73497 \\ -0,4598 \\ -1,07304 \end{Bmatrix} ; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,83319 \\ -0,30571 \\ 1,08678 \end{Bmatrix} ; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,95958 \\ 2,84011 \\ -3,60863 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = \{\phi_i\}^T [M] \{1\} \quad ; \quad M_i^* = \{\phi_i\}^T [M] \{\phi_i\} \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$\begin{aligned} P_1^* &= 6,31492 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_1^* &= 12,97751 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_1 &= 0,4866 \\ P_2^* &= 0,77854 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_2^* &= 2,2377 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_2 &= 0,34792 \\ P_3^* &= 0,34653 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_3^* &= 2,28614 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_3 &= 0,15158 \\ P_4^* &= 0,24649 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_4^* &= 18,50745 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; \Gamma_4 &= 0,01332 \end{aligned}$$

$$\{y_i\} = \{\phi_i\} \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 9,4370 \\ 17,4021 \\ 22,6527 \\ 24,3700 \end{Bmatrix} 10^{-4} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 8,3198 \\ 6,1148 \\ -3,8254 \\ -8,9275 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 16,195 \\ -13,494 \\ 4,951 \\ 17,600 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 1,018 \\ -2,994 \\ 2,89 \\ -3,672 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi_i\} \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3291 \\ 0,6069 \\ 0,7901 \\ 0,3840 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2354 \\ -0,1730 \\ -0,1082 \\ -0,1141 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,1028 \\ -0,0855 \\ -0,0314 \\ 0,0504 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0093 \\ -0,0176 \\ 0,0257 \\ -0,0147 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horisontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,0441 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 1,8178 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 2,3114 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 2,5475 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6766 \\ 0,6768 \\ 0,6762 \\ 0,3056 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3352 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,34928 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 9

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 3,86 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 3,86-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 & 0 \\ -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $\{\phi_i\}$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2,80727 - 0,71636\lambda$$

$$\phi_3 = 4,61454 - 3,44375\lambda + 0,51318\lambda^2$$

$$\phi_4 = 6,4218 - 9,47683\lambda + 3,49333\lambda^2 - 0,36762\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,16359\lambda^4 - 2,06001\lambda^3 + 8,3149\lambda^2 - 11,15318387\lambda + 2,48499 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,275679 ; \lambda_2 = 2,164369 ; \lambda_3 = 4,519755 ; \lambda_4 = 5,632714$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 16,60358 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,37842 \text{ dt} ; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 46,52278 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,13506 \text{ dt} ; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 67,22912 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,09346 \text{ dt} ; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 75,0141 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,08372 \text{ dt} ; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 2,60978 \\ 3,70417 \\ 4,06702 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,25680 \\ -0,43502 \\ -1,45237 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,43050 \\ -0,46703 \\ 1,00874 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,22778 \\ 1,49878 \\ -1,82197 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = \phi_i^T [M] \{1\} \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \phi_i| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 9,01406 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 28,56944 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,31551$$

$$P_2^* = 1,14815 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 3,66593 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,31319$$

$$P_3^* = 0,54982 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 1,83521 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,29960$$

$$P_4^* = 0,44116 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 6,15969 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,07162$$

$$\{y\}_i = \phi_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 7,8592 \\ 20,5107 \\ 29,1117 \\ 31,9634 \end{Bmatrix} 10^{-4} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 9,9367 \\ 12,4885 \\ -4,3227 \\ -14,4318 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 4,5519 \\ -1,9596 \\ -2,1259 \\ 4,5917 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 8,731 \\ -10,721 \\ 13,086 \\ -15,908 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \phi_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,2134 \\ 0,5570 \\ 0,7905 \\ 0,3921 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2118 \\ 0,2662 \\ -0,0922 \\ -0,1390 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,2027 \\ -0,0871 \\ -0,0946 \\ 0,0924 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0485 \\ -0,0595 \\ 0,0726 \\ -0,0399 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 9,3953 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_2 = 22,0627 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_3 = 29,8874 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_4 = 34,0248 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6764 \\ 0,6766 \\ 0,6763 \\ 0,3056 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3349 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,34832 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 10

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 3,86 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 3,86 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 3,86-0,985\omega^2m & -2,485k & 0 & 0 \\ -2,485k & 3,86-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 1,55332 - 0,39638\lambda$$

$$\phi_3 = 2,55332 - 2,22549\lambda + 0,28395\lambda^2$$

$$\phi_4 = 3,55332 - 5,88371\lambda + 2,16217\lambda^2 - 0,20341\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,090518\lambda^4 - 1,24186\lambda^3 + 5,20080\lambda^2 - 6,61128\lambda + 1,375 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,256695 ; \lambda_2 = 1,784638 ; \lambda_3 = 4,872080 ; \lambda_4 = 6,805766$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 16,02170 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,39217 \text{ dt} ; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 42,24498 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,14873 \text{ dt} ; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 69,80029 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,09002 \text{ dt} ; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 82,49707 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,07616 \text{ dt} ; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,45157 \\ 2,00076 \\ 2,18203 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,84593 \\ -0,51401 \\ -1,21678 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,37788 \\ -1,54928 \\ 2,68870 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,14435 \\ 0,55928 \\ -0,46292 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = \{\phi\}_i^T [M] \{1\} \quad ; \quad M_i^* = \{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_i \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 5,35655 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 9,12222 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,5872$$

$$P_2^* = 0,77047 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 2,60895 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,29532$$

$$P_3^* = 0,28322 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 6,79686 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,04223$$

$$P_4^* = 0,20271 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 2,67836 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,07568$$

$$\{y\}_i = \{\phi\}_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 1,5708 \\ 2,2802 \\ 3,1429 \\ 3,4276 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 11,3634 \\ 9,6127 \\ -5,8409 \\ -13,8268 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 4,5519 \\ -1,9596 \\ -2,1259 \\ 4,5917 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 8,740 \\ -10,731 \\ 13,099 \\ -15,924 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3972 \\ 0,5765 \\ 0,7947 \\ 0,3915 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,1998 \\ 0,1690 \\ -0,1027 \\ -0,1098 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0285 \\ -0,0108 \\ -0,0442 \\ 0,0347 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0511 \\ -0,0586 \\ 0,0286 \\ -0,0107 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_1)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,6980 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 2,3873 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 3,2148 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 3,5853 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6766 \\ 0,6761 \\ 0,6764 \\ 0,3056 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3348 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j^* h_j$$

$$M_b = 25,34784 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 11

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 3,86 & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 3,86 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 & 0 \\ -1,375k & 3,86-0,985\omega^2m & -2,485k & 0 \\ 0 & -2,485k & 3,86-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $\{\phi_i\}$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,71636\lambda$$

$$\phi_3 = 2,55332 - 1,9055\lambda + 0,28395\lambda^2$$

$$\phi_4 = 3,55332 - 5,88369\lambda + 2,16216\lambda^2 - 0,20341\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,090518\lambda^4 - 1,24185\lambda^3 + 5,20077\lambda^2 - 7,05124\lambda + 1,375 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,232785 ; \lambda_2 = 2,241949 ; \lambda_3 = 4,039853 ; \lambda_4 = 7,204284$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 15,25729 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,41182 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 47,34922 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,1327 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 63,55984 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,09885 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 84,8810 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,07402 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,83324 \\ 2,12514 \\ 2,29828 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,39396 \\ -0,29149 \\ -1,06206 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,89399 \\ -0,51044 \\ 1,66018 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -3,16122 \\ 3,56414 \\ -2,67584 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = |\phi_i^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \{\phi\}_i| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 5,90674 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 11,09436 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,53241$$

$$P_2^* = 0,61332 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 1,72352 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,35585$$

$$P_3^* = 0,34042 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 3,25538 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,10457$$

$$P_4^* = 0,19113 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 26,52721 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,00721$$

$$\{y\}_i = \{\phi\}_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 1,5705 \\ 2,8791 \\ 3,3376 \\ 3,6094 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 10,8995 \\ 4,294 \\ -3,1771 \\ -11,576 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 17,775 \\ -15,891 \\ -9,073 \\ 29,510 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 6,87 \\ -21,72 \\ 24,49 \\ -18,39 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3601 \\ 0,6602 \\ 0,7653 \\ 0,3739 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2407 \\ -0,0948 \\ -0,0702 \\ -0,1155 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0707 \\ -0,0632 \\ -0,03625 \\ 0,0531 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0049 \\ -0,0154 \\ 0,0174 \\ -0,0059 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,6980 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 2,9401 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 3,3809 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 3,7565 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6764 \\ 0,6764 \\ 0,6763 \\ 0,3056 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3347 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,3464 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 12

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 2,75 & -1,375 & 0 & 0 \\ -1,375 & 2,75 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 3,86 & -2,485 \\ 0 & 0 & -2,485 & 2,485 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 2,75-0,985\omega^2 m & -1,375k & 0 & 0 \\ -1,375k & 2,75-0,985\omega^2 m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2 m & -2,485k \\ 0 & 0 & -2,485k & 2,485-0,445\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,71636\lambda$$

$$\phi_3 = 3 - 2,86545\lambda + 0,51318\lambda^2$$

$$\phi_4 = 3,55332 - 5,24372\lambda + 1,93293\lambda^2 - 0,20341\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,09052\lambda^4 - 1,36563\lambda^3 - 5,86155\lambda^2 - 7,49123\lambda + 1,375 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,219276 ; \lambda_2 = 1,853377 ; \lambda_3 = 4,280170 ; \lambda_4 = 8,732572$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 14,80797 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,42431 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 43,05087 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,14595 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 65,42301 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,09604 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 93,44823 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,06724 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84292 \\ 2,39635 \\ 2,49429 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,67231 \\ -0,54798 \\ -0,82062 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,06614 \\ -0,13677 \\ 0,5705 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -4,25567 \\ 17,11124 \\ -30,2920 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = |\phi_i^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_i^* = |\phi_i^T [M] \{\phi\}_i| \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 6,27064 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 12,7553 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,4916$$

$$P_2^* = 0,7423 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 2,0257 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,3664$$

$$P_3^* = 0,3234 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 2,2679 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,1426$$

$$P_4^* = 0,1678 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 715,5610 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,000234$$

$$\{y\}_i = \{\phi\}_i \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 1,5396 \\ 2,8373 \\ 3,6893 \\ 3,8401 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 13,5771 \\ 9,128 \\ -7,440 \\ -11,1417 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 22,886 \\ -24,40 \\ 3,13 \\ 13,056 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 1,8 \\ -7,8 \\ 31,6 \\ -55,9 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi\}_i \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3325 \\ 0,6128 \\ 0,7968 \\ 0,3747 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2477 \\ 0,1666 \\ -0,1359 \\ -0,0919 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0963 \\ -0,1028 \\ 0,0132 \\ 0,0249 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,00016 \\ -0,0007 \\ 0,00271 \\ -0,00217 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 1,6983 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_2 = 2,9531 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_3 = 3,7671 \cdot 10^{-3} \text{ m} ; y_4 = 3,9651 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6767 \\ 0,6758 \\ 0,6768 \\ 0,3055 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3348 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j^* h_j$$

$$M_b = 25,34736 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 13

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 4,97 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 3,86 & -1,375 & 0 \\ 0 & -1,375 & 2,75 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 4,97-0,985\omega^2m & -2,485k & 0 & 0 \\ -2,485k & 3,86-0,985\omega^2m & -1,375k & 0 \\ 0 & -1,375k & 2,75-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 \cdot 0,39638\lambda$$

$$\phi_3 = 3,80727 - 2,54547\lambda + 0,28395\lambda^2$$

$$\phi_4 = 5,61455 - 7,42195\lambda + 2,39138\lambda^2 - 0,20341\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,09052\lambda^4 - 1,34386\lambda^3 + 6,20049\lambda^2 - 9,20364\lambda + 2,485 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,343861 ; \lambda_2 = 2,175874 ; \lambda_3 = 5,026134 ; \lambda_4 = 7,300132$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 18,54340 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,33884 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 46,64626 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,13470 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 70,89523 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,08863 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 85,44001 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,07354 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,86370 \\ 2,96556 \\ 3,33692 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,13753 \\ -0,38701 \\ -1,30829 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,00774 \\ -1,81345 \\ 2,8949 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,89363 \\ 0,35725 \\ -0,25966 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = \{\phi_i\}^T [M] \{1\} \quad ; \quad M_i^* = \{\phi_i\}^T [M] \{\phi_i\} \quad ; \quad T_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$\begin{aligned} P_1^* &= 7,2268 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_1^* &= 18,0239 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; T_1 &= 0,40096 \\ P_2^* &= 1,1421 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_2^* &= 3,1688 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; T_2 &= 0,3604 \\ P_3^* &= 0,4946 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_3^* &= 7,9536 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; T_3 &= 0,06218 \\ P_4^* &= 0,3411 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; M_4^* &= 1,97698 \text{ kg dt}^2/\text{m} & ; T_4 &= 0,17698 \end{aligned}$$

$$\{y\}_i = \{\phi_i\} \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 8,0072 \\ 14,923 \\ 23,7459 \\ 26,7194 \end{Bmatrix} 10^{-4} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 11,3748 \\ 12,9391 \\ -4,4022 \\ -14,8815 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 84,96 \\ 6,6 \\ -154,07 \\ 245,96 \end{Bmatrix} 10^{-8} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 16,648 \\ -14,878 \\ 5,948 \\ -4,323 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi_i\} \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,2712 \\ 0,5055 \\ 0,8042 \\ 0,4089 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2438 \\ 0,2773 \\ -0,0943 \\ -0,1441 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,0421 \\ 0,00033 \\ -0,0763 \\ 0,055 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,1197 \\ -0,1070 \\ 0,0428 \\ -0,0141 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 9,3197 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_2 = 16,3664 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_3 = 24,261 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_4 = 28,2754 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6768 \\ 0,6761 \\ 0,6765 \\ 0,3057 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3351 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,35024 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 14

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l}
 \text{Matriks massa } [M] \\
 [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \\
 \text{Matriks kekakuan } [K] \\
 [K] = \begin{bmatrix} 4,97 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 4,97 & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 3,86 & -1,375 \\ 0 & 0 & -1,375 & 1,375 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 4,97-0,985\omega^2m & -2,485k & 0 & 0 \\ -2,485k & 4,97-0,985\omega^2m & -2,485k & 0 \\ 0 & -2,485k & 3,86-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -1,375k & 1,375-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,39638\lambda$$

$$\phi_3 = 3 - 1,58551\lambda + 0,15712\lambda^2$$

$$\phi_4 = 4,80727 - 5,88369\lambda + 1,57687\lambda^2 - 0,11255\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,05009\lambda^4 - 0,85647\lambda^3 + 4,57041\lambda^2 - 8,04924\lambda + 2,485 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,388215 ; \lambda_2 = 2,768613 ; \lambda_3 = 5,410091 ; \lambda_4 = 8,531703$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 19,70317 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,31889 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 52,61761 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,11941 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 73,55332 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,08542 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 92,36722 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,06802 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubtitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84612 \\ 2,40816 \\ 2,7542 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,90258 \\ -0,18530 \\ -1,78388 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,14445 \\ -0,97899 \\ 1,30740 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,3818 \\ 0,90966 \\ -0,50639 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_1^* = |\phi_1^T [M] \{1\}| \quad ; \quad M_1^* = |\phi_1^T [M] \{\phi_1\}| \quad ; \quad \Gamma_1 = \frac{P_1^*}{M_1^*}$$

$$P_1^* = 6,4011 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 13,4299 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,4766$$

$$P_2^* = 0,8977 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 3,2373 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,2773$$

$$P_3^* = 0,4602 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 2,7102 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,1698$$

$$P_4^* = 0,2946 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 3,7949 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,0776$$

$$\{y\}_i = \{\phi_i\} \frac{P_1^* C g}{M_1^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 8,4304 \\ 15,5636 \\ 20,3018 \\ 23,2190 \end{Bmatrix} 10^{-4} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 6,8779 \\ 6,2078 \\ -1,2745 \\ -12,2693 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 21,553 \\ -3,113 \\ -21,100 \\ 28,178 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 6,248 \\ -8,634 \\ 5,684 \\ -3,164 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_1 = [M] \{\phi_1\} \frac{P_1^*}{M_1^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3224 \\ 0,5951 \\ 0,7763 \\ 0,4011 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,1876 \\ -0,1694 \\ -0,0348 \\ -0,1512 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,1147 \\ -0,0166 \\ -0,1124 \\ 0,0678 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0524 \\ -0,0725 \\ 0,0478 \\ -0,0120 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horizontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 9,7652 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_2 = 16,9789 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_3 = 21,57566 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_4 = 25,77201 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$H = \begin{Bmatrix} 0,6772 \\ 0,6754 \\ 0,6769 \\ 0,3057 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3352 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,3512 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$

Hitungan Variasi 15

Perhitungan Matriks Massa, Matriks Kekakuan dan *Mode Shape*

$$\begin{array}{l} \text{Matriks massa } [M] \\ [M] = \begin{bmatrix} 0,985 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,985 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,985 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,445 \end{bmatrix} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Matriks kekakuan } [K] \\ [K] = \begin{bmatrix} 4,97 & -2,485 & 0 & 0 \\ -2,485 & 4,97 & -2,485 & 0 \\ 0 & -2,485 & 4,97 & -2,485 \\ 0 & 0 & -2,485 & 2,485 \end{bmatrix} \end{array}$$

Persamaan *eigen problem* dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$; maka matriks diatas dapat ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 4,97-0,985\omega^2m & -2,485k & 0 & 0 \\ -2,485k & 4,97-0,985\omega^2m & -2,485k & 0 \\ 0 & -2,485k & 4,97-0,985\omega^2m & -1,375k \\ 0 & 0 & -2,485k & 2,485-0,445\omega^2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi $[\phi_i]$ persamaannya dinormalisasikan menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0,39638\lambda$$

$$\phi_3 = 3 - 1,58551\lambda + 0,15712\lambda^2$$

$$\phi_4 = 4 - 3,96378\lambda + 0,9427\lambda^2 - 0,06228\lambda^3$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$0,02771\lambda^4 - 0,57426\lambda^3 + 3,71605\lambda^2 - 7,69\lambda + 2,485 = 0$$

Dengan menggunakan metode setengah interval, didapat nilai akar-akarnya :

$$\lambda_1 = 0,393512 ; \lambda_2 = 3,191554 ; \lambda_3 = 7,144658 ; \lambda_4 = 9,994203$$

Nilai frekuensi sudut dan koefisien gempa dasar (C)

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = 19,83714 \text{ rad/dt}, T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,31674 \text{ dt}; C_1 = 0,07$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = 56,49384 \text{ rad/dt}, T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,11122 \text{ dt}; C_2 = 0,07$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = 84,52608 \text{ rad/dt}, T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0,07433 \text{ dt}; C_3 = 0,07$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = 99,97101 \text{ rad/dt}, T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0,06285 \text{ dt}; C_4 = 0,07$$

Mode shape didapatkan dengan mensubtitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ_i

$$\{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1,84402 \\ 2,40041 \\ 2,59175 \end{Bmatrix}; \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0,73493 \\ -0,45981 \\ -0,99704 \end{Bmatrix}; \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0,832 \\ -0,30756 \\ 1,25728 \end{Bmatrix}; \{\phi_4\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -1,9615 \\ 2,84788 \\ -3,38818 \end{Bmatrix}$$

Simpangan Horizontal Tiap Mode

$$P_i^* = \{\phi_i^T [M] \{1\}\} \quad ; \quad M_i^* = \{\phi_i^T [M] \{\phi_i\}\} \quad ; \quad \Gamma_i = \frac{P_i^*}{M_i^*}$$

$$P_1^* = 6,3149 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_1^* = 12,9775 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_1 = 0,4866$$

$$P_2^* = 0,7785 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_2^* = 2,2375 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_2 = 0,3479$$

$$P_3^* = 0,3464 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_3^* = 2,2862 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_3 = 0,1515$$

$$P_4^* = 0,2445 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad M_4^* = 18,61383 \text{ kg dt}^2/\text{m} \quad ; \quad \Gamma_4 = 0,01313$$

$$\{y_i\} = \{\phi_i\} \frac{P_i^* C g}{M_i^* \omega^2}$$

$$\{y_1\} = \begin{Bmatrix} 8,4914 \\ 15,6584 \\ 20,3829 \\ 21,9282 \end{Bmatrix} 10^{-4} \text{ m} \quad ; \quad \{y_2\} = \begin{Bmatrix} 7,4855 \\ 5,5013 \\ -3,4419 \\ -8,0314 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m} ;$$

$$\{y_3\} = \begin{Bmatrix} 14,561 \\ -12,115 \\ -4,478 \\ 15,833 \end{Bmatrix} 10^{-6} \text{ m} ; \quad \{y_4\} = \begin{Bmatrix} 9,020 \\ -17,70 \\ 25,69 \\ -32,71 \end{Bmatrix} 10^{-7} \text{ m} ;$$

$$\text{Gaya Horizontal Tiap Mode } (F_i = [M] \{\phi_i\} \frac{P_i^*}{M_i^*} C g)$$

$$\{F_1\} = \begin{Bmatrix} 0,3292 \\ 0,6069 \\ 0,7902 \\ 0,3840 \end{Bmatrix} \text{ kg} \quad ; \quad \{F_2\} = \begin{Bmatrix} 0,2355 \\ 0,1729 \\ -0,1081 \\ -0,1141 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_3\} = \begin{Bmatrix} 0,1026 \\ -0,0853 \\ -0,0314 \\ 0,0503 \end{Bmatrix} \text{ kg} ; \quad \{F_4\} = \begin{Bmatrix} 0,0091 \\ -0,0174 \\ 0,0252 \\ -0,0145 \end{Bmatrix} \text{ kg} ;$$

Simpangan Horizontal Tiap Massa (y_i)

Simpangan horisontal, menurut konsep *Upper Bound / Absolute Response*

$$y_1 = 9,3946 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_2 = 16,0696 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_3 = 20,0196 \cdot 10^{-4} \text{ m} ; y_4 = 21,2507 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Gaya Geser Tingkat (F)

$$F = \begin{Bmatrix} 0,6764 \\ 0,6771 \\ 0,6760 \\ 0,3058 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Gaya Geser Dasar (V_b)

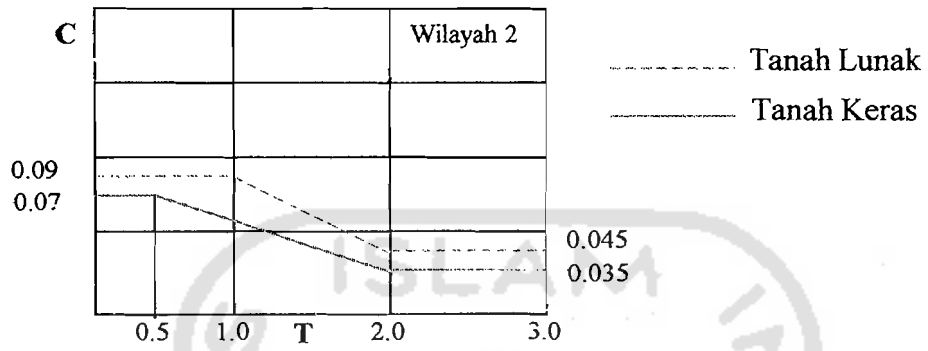
$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$V_b = 2,3353 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

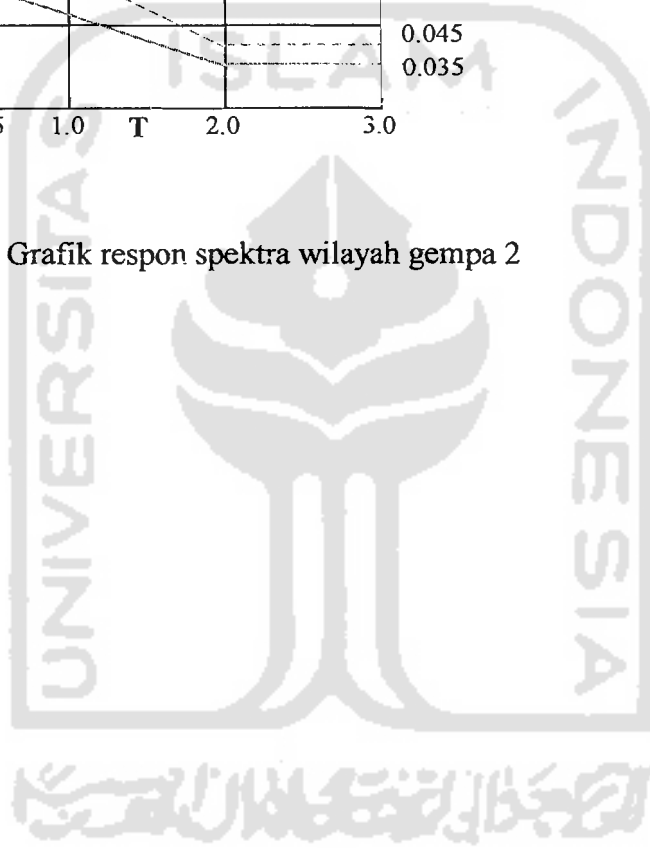
; Perhitungan Momen Guling (M_b)

$$M_b = \sum_{j=1}^n F_j \cdot h_j$$

$$M_b = 25,35264 \cdot 10^4 \text{ kg m}$$



Lampiran 15 Grafik respon spektra wilayah gempa 2



Kekakuan Dinding Pengisi Bata Merah

Kekakuan dinding pengisi bata merah berdasarkan gambar dibawah untuk suatu struktur secara teoritis adalah sebagai berikut.

$$\Delta = \frac{F_j}{\cos \phi} \times \frac{d}{w \times t} \times \frac{1}{E_{bata}} \times \frac{1}{\cos \phi}$$

Dimana :

- Δ = perubahan bentuk horisontal,
- F_j = beban horisontal,
- w = lebar *diagonal struts*,
- d = *equivalent diagonal struts*,
- t = tebal bata,
- E_{bata} = modulus elastisitas pasangan bata.

Lebar Diagonal Strut (w)

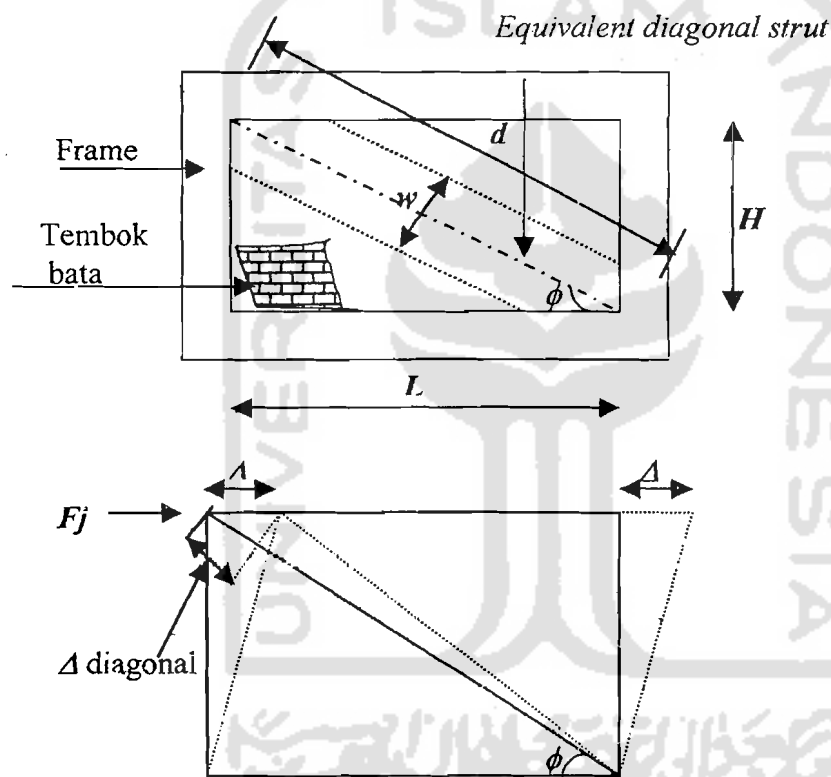
Menurut penyelidikan, lebar diagonal strut tergantung pada besarnya beban horisontal, perbandingan tinggi terhadap bentang panel dan perbandingan kekakuan rangka/kekakuan dinding.

Tetapi untuk dinding yang dibuat dari batu bata di Indonesia perbandingan beban terhadap beban runtuh dinding adalah sangat rendah, jadi harga λH (perbandingan kekakuan rangka/kekakuan dinding) dapat diambil sebesar 2, sehingga harga w dapat ditentukan dari tabel dibawah ini :

L/H	1,0	1,5	2,0	2,5
w/d	0,45	0,40	0,34	0,30

dimana : w = lebar *diagonal struts*,

d = *equivalent diagonal struts*.



Lampiran 16 Gambar *Equivalent diagonal strut*

Parameter lainnya yang diperlukan dalam perhitungan kekakuan dinding adalah “tebal efektif dinding”. Karena plesteran dan batu bata mempunyai modulus elastisitas yang tidak sama, maka tebal efektif dari kedua bahan ini harus dihitung. Menurut pengamatan, dalam praktek tebal plesteran dapat diambil sebesar 15 % dari tebal tembok, sehingga tebal dinding efektif terhadap tebal dinding plesteran dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$t + \{0,15 t (E_{\text{plesteran}} / E_{\text{bata}})\} = 3,25t \approx 3t$$

Perubahan bentuk horisontal dari dinding akibat beban horisontal F_j selanjutnya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{F_j}{\cos \phi} + \frac{d}{\beta d x 3t} + \frac{1}{E_{\text{bata}}} + \frac{1}{\cos \phi}$$

Kekakuan dinding bata merah dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{F_j}{\Delta} = E_{\text{bata}} \times \cos^2 \phi \times (w/d) \times 3t$$

Dimana : $\cos \phi = (L/d)$

$$d = (H^2 + L^2)^{1/2}$$

Jadi kekakuan dinding bata merah = $E_{\text{bata}} \times (L^2 / (L^2 + H^2)) \times w/d \times 3t$

Dari percobaan yang dilakukan dilaboratorium DPMB didapatkan hasil sebesar antara 2,5 dan 5,6 t/mm. Sedangkan dari rumus didapatkan 2,3 t/mm. Agar supaya harga kekakuan dinding ini sesuai dengan hasil percobaan maka nilai “3” dijadikan “5”, sehingga hasilnya sama.